introducción a la teoría general de sistemas

Oscar Johansen Bertoglio

Jefe de la Línea de Administración
en el Departamento de Administración de la Facultad
de Ciencias Económicas y Administrativas
de la Universidad de Chile

I. S. D. A.
BIBLIOTECA
Signatura DIST
Autor BER
Nº de Inv. 186
Librería Ej. 21
Precio
Fecha de Ingreso 26/8/02

LIMUSA
NORIEGA EDITORES
MÉXICO • España • Venezuela • Colombia

Contenido

		Pág.
INTRODUCCION		13
CAPITULO 1.	El Enfoque de los sistemas	17
1.1	El enfoque reduccionista	17
1.2	Dos enfoques para el estudio de la Teoría General de Sistemas	25
1.3	Tendencias que buscan la aplicación práctica de la Teoría General de Sistemas	28
	a) La Cibernética	29
	b) La Teoría de la Información	29
	c) La Teoría de los Juegos	30
	d) La Teoría de la Decisión	30
	e) La Topología o Matemática Relacional	31
	f) El Anális Factorial	31
	g) La Ingeniería de Sistemas	32
	h) La Investigación de Operaciones	32
CAPITULO 2.	Sinergia y recursividad	35
2.1	Sinergia	35
2.2	Recursividad	44

2.3 Sinergia y recursividad 48
2.4 Conclusiones 51

CAPITULO 3. Qué es un sistema 53

3.1 Definiciones 53
3.2 Concepto de Gestalt o sinergia 54
3.3 Subsistema 56
3.4 Niveles de organización 59
3.5 Las fronteras del sistema 63
3.6 Sistemas abiertos y sistemas cerrados 66

CAPITULO 4. Elementos de un sistema 71

4.1 Las corrientes de entrada 71
4.2 Proceso de conversión 75
4.3 Corriente de salida 77
4.4 La comunicación de retroalimentación 81
4.5 El enfoque corriente de entrada y salida 85

CAPITULO 5. Entropía y neguentropía 89

5.1 Las leyes de la termodinámica 90
5.2 Entropía 92
5.3 La entropía y los sistemas abiertos 94
5.4 La neguentropía y la subsistencia del sistema 97
5.5 La generación de la neguentropía 99
5.6 Entropía e información 104
5.7 Información y organización 106

CAPITULO 6. El principio de la organicidad 111

6.1 El mundo en equilibrio 111
6.2 La explicación newtoniana 112
6.3 La explicación de la Teoría General de Sistemas 114
6.4 La evolución en equilibrio 117
6.5 El principio de la organicidad 118
6.6 El principio de entropía como elemento desorganizador 123

6.7 Compatibilización: la neguentropía como elemento organizador 125

CAPITULO 7. Subsistemas de control 129

7.1 La retroalimentación negativa y sistema de control 130
7.2 Retroalimentación positiva 134
7.3 Sistemas desviación-amplificación 137
7.4 Un sistema de circuito cerrado con amplificación 143

CAPITULO 8. La definición de un sistema 147

8.1 Los objetivos del sistema total 148
8.2 El medio del sistema 152
8.3 Los recursos del sistema 155
8.4 Los componentes del sistema 158
8.5 La dirección del sistema 162

BIBLIOGRAFIA 165

Introducción

Este libro trata sobre la Teoría General de Sistemas, materia que día a día parece adquirir mayor importancia en el campo científico y también más y más adherentes.

Sin duda, la noción misma de sistemas no es una idea nueva. En efecto, podemos remontarnos a los filósofos griegos y, probablemente, a civilizaciones anteriores si es que nos decidimos a buscar el origen de este enfoque. Pero ese no es nuestro propósito. No queremos hacer historia.

Para nuestros efectos, creemos que la Teoría General de Sistemas como se plantea en la actualidad, se encuentra estrechamente relacionada con el trabajo de Ludwig von Bertalanffy, biólogo alemán, especialmente a partir de la presentación que hizo de la Teoría de los Sistemas Abiertos. Desde este punto de vista podríamos decir, entonces, que la idea de la Teoría General de Sistemas nació allá por 1925, cuando Bertalanffy hizo públicas sus investigaciones sobre el sistema abierto.

Pero parece que este nacimiento fue prematuro, ya que el mismo autor reconoce que sus ideas no tuvieron una acogida favorable en el mundo científico de esa época. Sólo en 1945, al término de la Segunda Guerra Mundial, el concepto de la Teoría General de Sistemas adquirió su derecho a vivir. A partir de entonces, este derecho se ha ido profundizando cada vez más, y hoy día se encuentra sólidamente asentado y así acogido por el mundo científico actual.

Sin duda, esta aceptación fue apoyada por los trabajos que otros

científicos realizaban y publicaban en esa época y que se relacionaban estrechamente con los sistemas. Entre otros están los estudios de N. Wiener que dieron origen a la Cibernética, de Ashby sobre el mismo tema, el surgimiento de la Investigación de Operaciones y su exitosa aplicación al campo administrativo de los diferentes sistemas sociales, etc.

La Teoría General de Sistemas a través del análisis de las totalidades y las interacciones internas de éstas y las externas con su medio, es, ya en la actualidad, una poderosa herramienta que permite la explicación de los fenómenos que se suceden en la realidad y también hace posible la predicción de la conducta futura de esa realidad. Es pues, un enfoque que debe gustar al científico, ya que su papel, a nuestro juicio, es, justamente, el conocimiento y la explicación de la realidad o de una parte de ella (sistemas) en relación al medio que la rodea y, sobre la base de esos conocimientos, poder predecir el comportamiento de esa realidad, dadas ciertas variaciones del medio o entorno en el cual se encuentra inserta.

Desde este punto de vista, la realidad es única, y es una totalidad que se comporta de acuerdo a una determinada conducta. Por lo tanto, la Teoría General de Sistemas, al abordar esa totalidad debe llevar consigo una visión integral y total. Esto significa, a nuestro juicio, que es necesario disponer de mecanismos interdisciplinarios, ya que de acuerdo al enfoque reduccionista con que se ha desarrollado el saber científico hasta nuestra época, la realidad ha sido dividida y sus partes han sido explicadas por diferentes ciencias; es como si la realidad, tomada como un sistema, hubiese sido dividida en un cierto número de subsistemas (independientes, interdependientes, traslapados, etc.) y cada uno de ellos hubiese pasado a constituir la unidad de análisis de una determinada rama del saber humano. Pero resulta que la realidad (el sistema total) tiene una conducta que, generalmente, no puede ser prevista o explicada a través del estudio y análisis de cada una de sus partes, en forma más o menos interdependiente. O, lo que es lo mismo, el todo es mayor que la suma de las partes. Así, la Teoría General de Sistemas es un corte horizontal que pasa a través de todos los diferentes campos del saber humano, para explicar y predecir la conducta de la realidad.

Estos mecanismos interdisciplinarios podrían ser identificados como un cierto número de principios o hipótesis que tienen una aplicación en los diferentes sistemas en que puede dividirse la realidad y también en ese sistema total.

Los avances actuales en esta Teoría se enfocan, justamente, a la identificación de esos principios que tienden a igualar ciertos aspectos o conductas de los diferentes sistemas en que podemos clasificar la realidad.

Por ejemplo, al hablar del todo y de sus partes, en el párrafo anterior, nos estábamos refiriendo al principio de la sinergia, que es aplicable a cualquier sistema natural o artificial.

Los sistemas en que podemos dividir la realidad son semejantes en algunos aspectos, pero también son diferentes. Pueden ser agrupados en distintos lotes, pero una característica importante que surge de inmediato es que esta división puede ser ordenada en forma vertical, es decir, que existe una jerarquía entre los diferentes lotes de sistemas. Lo más significativo de esta jerarquía es que los sistemas "inferiores" se encuentran contenidos en los sistemas "superiores". Tal es el principio de las recursividad. (En el capítulo 2 nos extendemos más en el análisis de estos dos principios, —sinergia y recursividad—).

El número de estos principios está aumentado de acuerdo con el desarrollo que, en forma creciente, tiene la Teoría General de Sistemas, y los denominados "interdisciplinarios" porque tienden a ser aplicables a las unidades de análisis de las distintas disciplinas científicas. Por ejemplo, la recursividad y la sinergia son aplicables tanto a la célula (Citología), a los organismos animales (Biología) o vegetales (Botánica), a los grupos sociales reducidos (Psicología Social) o amplios (Sociología), a todo el planeta Tierra (Ecología) o a todo el Universo (Astronomía).

El presente trabajo pretende sólo ser una introducción al tema, su presentación y una identificación de sus rasgos más importantes. En otras palabras, busca entregar un vocabulario de los conceptos que constituyen más o menos lo que hoy se conoce como Teoría General de Sistemas.

Como toda ciencia joven, más bien dicho, prácticamente recién nacida, no existe mucha unidad y acuerdo entre los diferentes investigadores de este campo. Incluso no debería sorprender encontrar dos posiciones contradictorias frente a un determinado concepto. Por esta razón, el desarrollo de este libro se basa en un cierto criterio, dejando abiertas las puertas para otras interpretaciones. Sin embargo, creemos que existe conciencia entre los investigadores de este campo, en que si bien de la contradicción puede salir una explicación superior, también un exceso de discrepancias en torno a vocabulario o concepto puede constituir un serio factor de desorden (o entropía) que afecta las comunicaciones entre los científicos obligando a utilizar energía que podría ser destinada a otros usos más productivos dentro de la investigación. Por esta razón se ha formado en los Estados Unidos una Sociedad en la que se van enrolando los investigadores más importantes, y que, a través de sus convenciones, reuniones, y otros mecanismos de comunicación, van

"legalizando" ciertos conceptos, ideas y nombres que tienden a la creación de un vocabulario o idioma común. Tal es la *Society for General Systems Research*.

Si bien es cierto que la Teoría General de Sistemas es un enfoque interdisciplinario, y por lo tanto, aplicable a cualquier sistema tanto natural como artificial, en este trabajo nos hemos inclinado más hacia ciertos sistemas particulares: las organizaciones humanas, y entre éstas, la empresa. La razón concreta de esta conducta premeditada es que es ése el sistema que mejor conocemos y también el sistema que constituye nuestra unidad de análisis y es la búsqueda de la explicación y predicción de los fenómenos que le ocurren lo que nos ha llevado a introducirnos en el campo de la Teoría General de Sistemas. Pero, y esto no sólo debería quedar en claro sino probarse su validez, los análisis y explicaciones que se desarrollan más adelante son perfectamente aplicables (en mayor o menor grado) a cualquier otro sistema, por ejemplo, al organismo humano, a la célula o a la comunidad. Nuestro supuesto es que cualquier investigador, cuya unidad de análisis no sea la empresa o los sistemas sociales, debería ser capaz de identificar los diferentes conceptos y mecanismos que aquí se plantean, dentro de su propio sistema o unidad de análisis. Quizás, esta no sólo sea la prueba de fuego de la Teoría General de Sistemas (ya que esa es la base de la cual parte) sino que el valor de este trabajo. En otras palabras, si, por ejemplo un biólogo o un citólogo puede interpretar el contenido de este libro en términos de los organismos animales o de las células, el objetivo de la presente obra habría sido alcanzado en forma satisfactoria.

La idea original e incluso el desarrollo del primer borrador nació en Nueva York, en 1972, mientras el autor estaba en la Universidad de Columbia como *Visiting Scholar* gracias a una ayuda financiera entregada por la Fundación Ford. Por esta razón, tanto la Universidad de Columbia como la Fundación Ford caen dentro del agradecimiento del autor. También debo agradecer a don Juan Cariola, quien revisó el contenido y la forma de este trabajo, y con su gran habilidad, lo hizo legible. Lo mismo a todos aquellos académicos del Departamento de Administración de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Chile, Sede Occidente, y a su personal administrativo y de secretariado que de una forma u otra ayudaron a la finalización y publicación de esta obra.

CAPITULO 1

El enfoque de los sistemas

1.1 El enfoque reduccionista

Hace un tiempo atrás, mientras me preparaba a efectuar un viaje fuera del país, tuve que ir al consultorio del médico, a quien visito periódicamente por una enfermedad crónica, con el fin de que me diera un certificado, explicando mi enfermedad, y que podría servirme como un antecedente en previsión de alguna afección que pudiera sufrir mientras estuviera en el extranjero.

Mientras esperaba al médico gastroenterólogo observé en una de las paredes de su clínica un gran cuadro que representaba las diferentes partes del organismo, cada una dentro de los contornos de la figura humana. Así, la primera figura representaba el esqueleto; la segunda, el aparato circulatorio; la tercera, el sistema digestivo, la cuarta el sistema muscular y la quinta, el sistema nervioso.

Cada una de ellas mostraba una parte de la anatomía humana, separada de tal modo que facilitara su estudio y la comprensión de las funciones de cada sistema en particular. Sin embargo, superponiéndolas de cierta manera se llegaba a ser humano como tal.

Es evidente que es a través de esas divisiones como la biología ha logrado estudiar e investigar la anatomía humana. Es decir, el progreso alcanzado por estas ciencias se debe, en gran parte, a lo que, generalmente, se denomina el enfoque reduccionista, en el cual se estudia un fenómeno complejo a través del análisis de sus elementos o partes componentes.

Observemos un problema trivial. A pesar de que muchos partidos de fútbol importantes son televisados, normalmente podemos observar el estadio lleno y la reventa de entradas, es decir, una fuerte presión para ver el juego desde allí. ¿Es que esa gente no dispone de un receptor de TV o le es imposible "visitar" a algún familiar o amigo que lo tenga? Creemos que no. Ver un partido de fútbol en TV, dice el aficionado, "no es lo mismo que verlo en la cancha". Aparte del ingrediente marginal (pero importante) del ruido, del contacto entre los espectadores, en fin, del estado emocional que provoca una contienda de equipos importantes, es difícil seguir el juego desde la pantalla del televisor. Uno observa al arquero efectuar un rechazo, ¿hacia dónde? No lo sabemos, hasta que la pantalla, siguiendo la trayectoria del balón, nos indica hacia qué jugador o posición éste iba dirigido. Lo mismo ocurre en casi todo el partido, excepto en los pases cortos. ¿Qué sucede? Simplemente, que la actual tecnología no nos permite "observar" toda la cancha desde la pantalla de TV. Sólo nos muestra el lugar donde se desarrolla la acción central (donde está el balón en juego), pero no nos permite observar el todo, el cuadro general, los movimientos de los jugadores sin el balón, los desplazamientos y las desmarcaciones. En una palabra, observamos una parte del conjunto que no nos permite "gozar" del espectáculo completo.

Para dejar más clara la idea, y utilizando la imaginación del lector, supongamos que pudiéramos disponer de un aparato tal que nos permitiera observar solamente la conducta de un determinado jugador de uno de los dos equipos que se enfrentan en el estadio. Aparece sólo el individuo en acción. Evidentemente que, al cabo de unos minutos, nos parecería que este hombre se conduce de una manera bastante extraña que nosotros no comprendemos: le vemos correr, detenerse, saltar, caer al suelo, levantar las manos, moverse con un comportamiento errático. Sin embargo, si en un momento dado apretamos un botón de nuestro televisor y lo integramos al comportamiento del resto de los jugadores, árbitros y público, entonces comprenderemos y nos explicaremos cabalmente una conducta hasta entonces extraña y absurda.

Sin embargo, esto no significa necesariamente que rechacemos el concepto de reducción. En ningún caso. La prueba evidente de su validez la encontramos en el resultado de su aplicación, en un crecimiento del saber humano. Lo que pretendemos decir es que los fenómenos no sólo deben ser estudiados a través de un enfoque reduccionista. También pueden ser vistos en su totalidad. En otras palabras, existen fenómenos que sólo pueden se explicados tomando en cuenta el todo que los comprende y del que forman parte a través de su interacción.

A medida que los sistemas (u "objetos de estudio") van siendo más complejos, (es decir, no sólo están constituidos por más partes, sino que también la interacción entre ellas se hace cada vez más compleja), parece ser que la explicación de los fenómenos que presentan las conductas de esos sistemas tiende a tomar en cuenta su "medio", su entorno. es decir, su "totalidad".

Esto nos puede llevar a meditar que quizá conductas de sistemas (personas, animales, grupos, comunidades, sociedades, etc.) que hoy día nos parecen extrañas, inexplicables, imposibles de predecir, etc., tengan una respuesta adecuada si ampliamos el "objeto de investigación" y lo integramos en su totalidad. En realidad, muchos efectos no esperados que surgen, por ejemplo, con la aplicación de un mecanismo de control administrativo pueden ser perfectamente explicados (y/o anticipados) si se hubiera considerado la totalidad de la organización y no sólo el ámbito reducido en que se aplicó.[1]

Por ejemplo, ya en los años 30, Kurt Lewin, el famoso psicólogo fundador de la escuela basada en la "teoría de los campos" (*Field Theory*) para el estudio del comportamiento humano y de grupos señalaba que "lo que resulta importante en la teoría del campo es la forma en que procede el análisis. En vez de escoger uno u otro elemento aislado dentro de una situación, la importancia del cual no puede ser juzgada sin tomar en cuenta la situación como un todo, la teoría del campo encuentra ventajoso, como regla, comenzar por la caracterización de las situación como un todo. Después de la primera aproximación, los diversos aspectos y partes de la situación son sometidos a un análisis cada vez más específico y detallado. Es obvio que este método es la mejor manera para no errar el camino, engañados por uno u otro elemento de la situación".[2] Sin duda que Lewin pensaba ya en la idea integracionista, porque se enfrentaba a un objeto de estudio: el hombre y/o los grupos, que son sistemas bastante más complejos que un pedazo de mineral o una célula.

Por ejemplo, un concepto totalizante es indispensable en biología: el organismo; el concepto de individuo en psicología; el concepto de instituciones y clases sociales en sociología; el concepto de nación en las ciencias políticas contemporáneas; el concepto de cultura en antropología. Cada uno de estos sistemas (o totalidades) se presenta

[1] En su aplicación a la organización, ver O. Johansen: "Problemas Organizacionales: Soluciones y Efectos" CELECA 1, 1973.

[2] Kurt Lewin, citado en Malcom e Hilda Knowles "Introducción a la Dinámica de Grupo", (México, Ed. Letras, 1969).

en forma natural, simplemente, porque lo percibimos así. Reconocemos a un organismo, a un individuo, a una nación. Y podemos suponer que bajo circunstancias apropiadas actúan como totalidades. Sin embargo, si confinamos nuestra atención exclusivamente a los modelos generales observables de estos "todos" no haremos grandes progresos en la comprensión de sus comportamientos. Obtenemos una comprensión más profunda de cómo un organismo realiza una acción si comprendemos cómo los componentes del acto están integrados por su sistema nervioso. También obtenemos un mayor conocimiento de por qué un país reacciona de una manera determinada ante los actos de otras naciones, si comprendemos cómo se toman las decisiones por parte de sus instituciones políticas y cómo son implementadas, es decir, cómo la acción de quizá millones de individuos se combina para resultar en un acto atribuible a la nación como un todo. En otras palabras, no sólo es necesario definir la totalidad sino también sus partes constituyentes[3] y las interacciones de éstas.

La Teoría General de Sistemas describe un nivel de construcción teórico de modelos que se sitúa entre las construcciones altamente generalizadas de las matemáticas puras y las teorías específicas de las disciplinas especializadas y que en estos últimos años ha hecho sentir, cada vez más fuerte, la necesidad de un cuerpo sistemático de construcciones teóricas que pueda discutir, analizar y explicar las relaciones generales del mundo empírico. Según Boulding[4] ese es el destino de la Teoría General de Sistemas. Por supuesto que no se busca establecer una teoría general de prácticamente cualquier cosa, única y total, que reemplace todas las teorías especiales de cada disciplina en particular.

Tal teoría, en la práctica, no tendría contenido, porque en la medida que aumentamos la generalidad tenemos que hacerlo a costa del contenido. Por ejemplo, se puede pensar en una persona en particular. Sin embargo, podemos generalizarla diciendo que es un ciudadano de una ciudad determinada. Hemos ganado en generalización, pero hemos perdido en cuanto al contenido particular de la persona. Pero podemos llegar fácilmente a un segundo grado de generalización diciendo que es un hombre de una determinada nacionalidad. Luego podemos generalizarlo más aún, pensando en su sentido genérico: es un sistema vivo, y aún más, en otro grado de generalización es un sistema natural, por fin podemos decir que es un sistema abierto y, más aún, un sistema y finalmente un objeto.

[3]Generalmente, las partes constituyentes también pueden ser consideradas como sistemas. Aquí se encuentra implícito el concepto de recursividad que será discutido más adelante.

[4]K. Boulding. "General Systems Theory - the Skeleton of Sciencie", *Management Sciences* 2, (1956), 197-208.

Sin embargo, en alguna parte, entre lo específico que no tiene significado y lo general que no tiene contenido, debe existir para cada propósito y para cada nivel de abstracción, un grado óptimo de generalidad. Los teóricos de sistemas afirman que este óptimo grado de generalidad en teoría no siempre es alcanzado por las ciencias en particular.

Este punto de vista se ve cada vez más demostrado o adquiere mayor fuerza, cuando uno contempla las nuevas disciplinas que se crean y que representan, fundamentalmente, la "tierra de nadie" que separa a las disciplinas concretas. Así, hablamos de físico-química (que no es ni física pura ni química pura), de psicología social (que no es ni psicología pura ni sociología pura) y, más reciente aún, de bioquímica, biofisioquímica (y no sería extraño que ya se pensara en términos de psicobiofisioquímica o sociopsicobiofisioquímica). En este sentido, la teoría de sistemas (o el enfoque de sistemas) toma una posición contraria (como metodología) al enfoque reduccionista que discutimos anteriormente. Mientras este último tiende a la subdivisión cada vez mayor del todo, y al estudio particular de esas subdivisiones, el enfoque de sistemas pretende integrar las partes hasta alcanzar una totalidad lógica o de una independencia o autonomía relativa con respecto a la totalidad mayor de la cual también forma parte.

Los objetivos de la Teoría General de Sistemas pueden ser fijados a diferentes grados de ambición y de confianza. A un nivel de ambición bajo pero con un alto grado de confianza, su propósito es descubrir las similitudes o isomorfismos en las construcciones teóricas de las diferentes disciplinas, cuando éstas existen, y desarrollar modelos teóricos que tengan aplicación al menos en dos campos diferentes de estudio. A un nivel más alto de ambición, pero, quizás, con un grado de confianza menor, espera desarrollar algo parecido a un "espectro" de teorías, un sistema de sistemas que pueda llevar a cabo la función de un gestalt[5] en las construcciones teóricas. Este espectro o gestalt ha tenido gran valor en campos específicos del conocimiento humano, al dirigir las investigaciones hacia los vacíos que ellos revelan. Por ejemplo, tenemos el caso de la tabla periódica de elementos en química. Durante muchas décadas dirigieron la investigación hacia el descubrimiento de elementos desconocidos para llenar los vacíos de la tabla, hasta que éstos fueron completamente llenados.

[5]Gestalt: (palabra alemana que significa, aproximadamente "configuración"). Es la experiencia perceptiva normal en la cual la totalidad es vista o comprendida como algo más que la simple suma de sus partes. . . El ejemplo clásico es un dibujo que puede ser percibido ya sea como florero o como dos caras humanas.
J.A. Brussel y G.L. Cantzlaar: *Diccionario de Psiquiatría* (México, CECSA Ed. 1972) p. 128.

La necesidad de una teoría general de sistemas se ve acentuada por la situación actual de las ciencias, señala Boulding.[6] El conocimiento no es algo que exista y crezca en abstracto. Es una función del organismo humano y de las organizaciones sociales. El conocimiento oculto no es conocimiento. El conocimiento crece a través de la recepción de información, es decir, de la obtención de mensajes capaces de reorganizar el conocimiento del receptor. Por lo tanto el crecimiento del conocimiento, en general, depende directamente de este flujo de comunicaciones entre científicos. Según Boulding la situación crítica en que se encuentra la ciencia hoy día se ha debido a la dificultad, cada vez mayor, de tales comunicaciones entre los científicos como una totalidad. "La especialización ha superado al intercambio de la comunicación entre los discípulos y se hace cada vez más difícil, y la República del aprendizaje se está desintegrando en subculturas aisladas con sólo tenues líneas de comunicación entre ellas - una situación que amenaza con una guerra civil intelectual".

Boulding explica esta crisis en el cuerpo del conocimiento diciendo que, en el curso de la especialización, los receptores de la información también se especializan. Así el físico sólo habla de física, el economista de economía, el astrónomo de astronomía, y, lo que es peor aún, el físico nuclear sólo habla de física nuclear, el astrofísico de astrofísica. Está sucediendo un profundo proceso de "percepción selectiva" demostrado, para el caso de la especialización dentro de una empresa industrial, por H.A. Simon.[7] Boulding se pregunta si la ciencia no se transformará en un conjunto de ermitaños enclaustrados, cada uno hablando para sí mismo con palabras de un lenguaje particular que sólo él puede comprender.

Mientras más se divide la ciencia en subgrupos y menor sea la comunicación entre las disciplinas, mayor es la probabilidad de que el crecimiento total del conocimiento sea reducido por la pérdida de comunicación relevante. El esparcimiento de la sordera especializada significa que una persona que debiera saber algo que otra conoce es incapaz de encontrarlo por la falta de un "oído generalizado". Ahora bien, uno de los principales objetivos de la Teoría General de Sistemas es la multiplicación de estos oídos generalizados y el desarrollo de un marco de referencia de teoría general que permitan que un especialista pueda alcanzar a captar y comprender la comunicación relevante de otro especialista.

[6] *Ibid* p. 198.

[7] Se entiende por percepción selectiva, de acuerdo con H.A. Simon al hecho de que cada persona (los ejecutivos en su estudio particular) percibirá aquellos aspectos de una situación que se relacionan específicamente con las actividades y objetivos propios (o de su organización. Dearborn y Simon, "Selective Perception: Note on A Departamental Identification of Executives", *Sociometry* 21, (1958), pp. 140-144.

Aparentemente, aquí parecería encontrarse implícita una contradicción, porque por un lado estamos hablando y quejándonos de la falta de comunicaciones y por el otro, estamos presenciando el mayor crecimiento que haya experimentado el campo de las comunicaciones, o más bien, la transmisión de informaciones. En efecto, sin duda alguna, la primera gran revolución en las comunicaciones fue la invención del lenguaje hablado y escrito. La segunda revolución fue la invención de la imprenta que divulgó los escritos relegados hasta entonces a los monasterios y a las personas de alta cultura y riqueza. La tercera revolución es la de nuestros días, comenzada a principios de siglo con la invención de la telegrafía y que hoy día continúa con la transmisión televisada vía satélite, los transistores y otros mecanismos que transmiten y/o procesan información en tiempo infinitesimal.

Sin embargo, este enorme avance en las comunicaciones corresponde, fundamentalmente, a un fenómeno de "esparcimiento", de distribución cada vez más masiva de información (un fenómeno característico es la revolución del "pocket book"). En otras palabras, y tomando como ejemplo el cerebro, estamos logrando la *irradiación* del estímulo a través de toda la masa encefálica, pero, y aquí se rompe la contradicción, estamos cada vez más distantes de la preparación, adecuación y sensibilización de los centros receptores a quienes va dirigida la información, lo que en el cerebro corresponde al principio de la concentración. Falta, por lo tanto, lo que Boulding denomina "oído generalizado" para hacer frente a la sordera producida por la especialización, lo que se traduce en concreto en un *vocabulario común* que pueda proporcionar la Teoría General de Sistemas, a través de la búsqueda y el reconocimiento de los isomorfismos.

De este modo, es posible que un economista, que comprenda las fuertes similitudes formales que existen entre la teoría de la utilidad y la teoría de los campos en física, se encuentre en mejor situación para aprender del físico, que uno que no visualiza esta similitud. De la misma forma un especialista que trabaja con el concepto de crecimiento (sea un virologista, un citologista, un psicólogo, sociólogo o economista) estará más sensitivo a las contribuciones de los otros campos, si está consciente de la cantidad de similitudes del proceso de crecimiento en campos empíricos bastantes diferentes.

Observemos el siguiente ejemplo concreto. Los bioestadísticos han definido algunas funciones matemáticas que representan un modelo

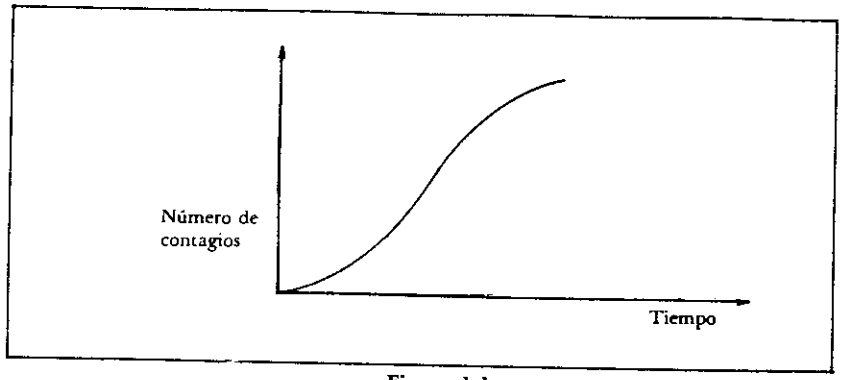

Figura 1.1

del desarrollo y conducta de las enfermedades contagiosas. Gráficamente, estas funciones tienen la forma de *S* como se muestra en la figura 1.1.

En los comienzos de la epidemia el número de contagios es relativamente bajo. Al cabo de un tiempo, la tasa de crecimiento aumenta considerablemente al extenderse los contagios debido a la interacción de la población. Sin embargo, se llega a un punto en que su crecimiento disminuye, hasta llegar, prácticamente a hacerse asintótica, es decir, en que cesa el crecimiento (la tasa se hace cero) y la curva se transforma en una recta horizontal al eje de las *X* (cuando la mayoría o la totalidad de la población está o ha sufrido ya el contagio).

Observando las características de la conducta de este sistema un experto en mercados y publicidad puede que encuentre una gran similitud entre el comportamiento de la enfermedad contagiosa con el desarrollo de la propaganda de un producto o idea en una oportunidad, porque, si se piensa un poco, parece que la propaganda de un mensaje dentro de un área se asemeja bastante a la propagación de una enfermedad.

> Maravillosa la similitud —podrá decir alguien, pero puede agregar— ¿y qué?. . .

Bueno, no es necesario ser un clarividente para comprender que si esta similitud es tal, el publicista estará en una posición de determinar hasta qué momento debe mantener la campaña publicitaria. Porque parecería que, llegado a un punto, (de acuerdo con la curva *S*) la propaganda será inefectiva y mantenerla sólo servirá para aumentar los costos. Habrá llegado el momento de detenerla o cambiarla.[8]

[8]Efectivamente, la Teoría General de Sistemas ha sido criticada en este sentido. La esencia de esta crítica es el argumento: "supongamos que encontramos una analogía entre dos sistemas, esto no significa nada". Impícita aquí se encuentra la idea de la "correlación espúrea". Von Bertalanffy, en su artículo General System Theory "A Critical Review o General Systems" VII, 1962, 1-20 comenta estas críticas.

1.2. Dos enfoques para el estudio de la Teoría General de Sistemas

Existen dos enfoques para el desarrollo de la Teoría General de Sistemas, que la misma teoría sugiere. Estos enfoques, como se apreciará, deben tomarse más bien como complementarios que como competitivos o como dos caminos cuya exploración tiene valor.

El primer enfoque es observar al universo empírico y escoger ciertos fenómenos generales que se encuentran en las diferentes disciplinas y tratar de construir un modelo teórico que sea relevante para esos fenómenos. Este método, en vez de estudiar sistema tras sistema, considera un conjunto de todos los sistemas concebibles (en los que se manifiesta el fenómeno general en cuestión) y busca reducirlo a un conjunto de un tamaño más razonable.

Por ejemplo, en casi todas las disciplinas encontramos ejemplos de población, es decir, agregados de individuos que se comportan de acuerdo con cierta definición; a esa población, los individuos son sumados (nacimientos) y restados (defunciones) y en ella la edad de los individuos es una variable importante e identificable.

Estas poblaciones muestran movimientos dinámicos propios, que pueden ser descritos con bastante precisión a través de ecuaciones en diferencia. Las poblaciones de las diferentes especies también muestran una interacción dinámica. Los modelos de cambios de población aparecen en muchos campos particulares del conocimiento: sistemas ecológicos en biología, la teoría del capital en economía, que trata de las poblaciones de "bienes", la ecología social y aún ciertos problemas de la mecánica estadística. En todos estos campos, la población cambia, tanto en su número absoluto como en su estructura, y los cambios pueden ser analizados en términos de funciones de nacimiento y de supervivencia, relacionando el número de nacimientos con el número de muertes o fallecimientos dentro de grupos de edades específicos y relacionados con diferentes aspectos del sistema. En todos estos campos, la interacción de la población puede ser analizada en términos de relaciones competitivas complementarias y parásitas entre la población de diferentes especies, ya sea que éstas estén formadas por animales, bienes, clases sociales, o moléculas.

Otro fenómeno de importancia universal para todas las disciplinas es el de la interacción de un individuo de algún tipo con su medio. Cada

disciplina estudia alguna especie de individuos (electrones, átomos, moléculas, cristales, virus, células, plantas, animales, el hombre, la familia, una tribu, un estado, una iglesia, una empresa, el universo, etc.). Cada uno de estos individuos muestra un "comportamiento" (acciones o cambios) y se considera que su conducta se encuentra relacionada en varias formas con el medio ambiente que lo rodea, es decir, con otros individuos con los que él entra en contacto o tiene alguna relación. Se ve en cada uno algo como una estructura o complejo de individuos del orden inmediatamente inferior a él; (los átomos son un arreglo de protones y electrones; las moléculas un conjunto de átomos, las células de moléculas; las plantas, los animales, el hombre de células, las organizaciones sociales, de hombres, etc.). La conducta de cada uno se explica por la estructura y los arreglos de los individuos inferiores que lo componen, o por cierto principio de equilibrio en homeóstasis de acuerdo con ciertos "estados" que el individuo prefiere. La conducta se describe en términos de la restauración de estos estados preferidos cuando ellos son modificados por cambios sucedidos en el medio.

Un tercer fenómeno de importania universal es el del crecimiento. En cierto sentido, la teoría del crecimiento puede ser considerada como una subdivisión de la teoría del comportamiento individual ya que el crecimiento es un importante aspecto de la conducta. Sin embargo, existen importantes diferencias entre la teoría de equilibrio y la teoría del crecimiento, lo que obliga a darle a la teoría del crecimiento una categoría especial. Difícilmente encontraremos una ciencia en que el fenómeno del crecimiento no posea alguna importancia, y aunque existe una gran diferencia entre el crecimiento de los cristales, de los embriones y de las sociedades, muchos de los conceptos que son importantes en los niveles inferiores, también proveen de ideas a los niveles superiores.

Un cuarto aspecto de la teoría del individuo y de sus interrelaciones, al cual puede dársele un tratamiento especial, es la *teoría de la información y de la comunicación*. El concepto de información desarrollado por Shannon ha tenido valiosas aplicaciones fuera de su campo original, la ingeniería eléctrica: se le aplica especialmente en las ciencias sociales (en el estudio de las organizaciones como redes de comunicación y centros de decisiones); en las ciencias biológicas (en el estudio del comportamiento del sistema nervioso, del cerebro, las neuronas, etc.) Es interesante obsevar que el proceso de conducta psíquica desarrollado por Freud puede ser perfectamente explicado en términos de comunicaciones entre el id, el ego y el superego. En el nivel biológico, el concepto de información puede servir para desarrollar nociones generales de estructuración y de mediciones abstractas de organización, lo que

nos da una tercera dimensión básica, fuera de la masa y la energía. Los procesos de comunicación e información se encuentran en una amplia gama de situaciones empíricas y son, sin duda alguna, esenciales para el desarrollo de organizaciones tanto en el mundo biológico como en el mundo social. Existen muchas definiciones de información, pero nosotros adoptaremos aquélla que señala que *la información es una disminución de la incertidumbre.*

Un segundo enfoque posible para la teoría general de sistemas es ordenar los campos empíricos en una jerarquía de acuerdo con la complejidad de la organización de sus individuos básicos o unidades de conducta y tratar de desarrollar un nivel de abstracción apropiado a cada uno de ellos. Este es un enfoque más sistemático que el anterior y conduce a lo que se ha denominado "un sistema de sistemas".

Boulding[9] presenta un ordenamiento jerárquico a los posibles niveles que determinan un ordenamiento de los diferentes sistemas que nos rodean. En este punto, nos limitaremos a indicar someramente los diferentes peldaños de la jerarquía, tema que trataremos con más detalles en el capítulo 2 al discutir los niveles de organización. La ordenación de Boulding es la siguiente:

- Primer nivel: *Estructuras estáticas* (ejemplo: el modelo de los electrones dentro del átomo).
- Segundo nivel: *Sistemas dinámicos simples* (ejemplo: el sistema solar).
- Tercer nivel: *Sistemas cibernéticos o de control* (ejemplo: el termostato).
- Cuarto nivel: *Los sistemas abiertos* (ejemplo: las células).
- Quinto nivel: *Genético Social* (ejemplo: las plantas).
- Sexto nivel: *Animal*
- Séptimo nivel: *El hombre*
- Octavo nivel: *Las estructuras sociales* (ejemplo: una empresa).
- Noveno nivel: *Los sistemas trascendentes* (ejemplo: lo absoluto).

Una ventaja que muestra esta jerarquía de sistemas es que nos da alguna idea sobre la presencia de vacíos presentes tanto en el conocimiento empírico como teórico. Por ejemplo, los modelos teóricos adecuados se extienden hasta el cuarto nivel (los sistemas abiertos) y no mucho más allá. El conocimiento empírico es deficiente, prácticamente en cada

[9]Boulding, "The Image". Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1956.

nivel. Dentro del nivel de las estructuras estáticas se encuentran disponibles modelos bastante adecuados y acabados tanto en geografía como en química, geología, anatomía y ciencias sociales descriptivas. Sin embargo, aun dentro de este nivel, el más simple, todavía está lejos de resolverse el problema de una adecuada descripción de las estructuras completas.

Más allá del segundo nivel, los modelos teóricos adecuados comienzan a escasear, aunque en los últimos años se ha observado un gran impulso en los niveles tres y cuatro. La teoría de los mecanismos de control se ha establecido como una nueva disciplina, a la vez que la cibernética y la teoría de los sistemas abiertos o sistemas que se automantienen, han hecho rápidos avances. Sin embargo, aparentemente, nos encontramos sólo en los comienzos.

Más allá del cuarto nivel podemos dudar que dispongamos de los rudimentos de sistemas teóricos. El complicado mecanismo del crecimiento, mediante el cual el complejo genético organiza las materias a su alrededor es casi un completo misterio. Frente a los sistemas estamos casi indefensos y sólo ocasionalmente podemos cooperar con sistemas que, básicamente, no comprendemos. Sin embargo, el futuro se encuentra abierto para que los hombres de ciencia, utilizando este nuevo enfoque, puedan avanzar en los modelos de comportamiento de niveles cada vez más superiores (y más complejos) de modo de explicarnos la conducta de esos sistemas con los consiguientes beneficios para el hombre y su comunidad.

Boulding denomina a la teoría general de sistemas el "Esqueleto de la Ciencia" en el sentido de que esta teoría busca un marco de referencia a una estructura de sistemas sobre el cual "colgar la carne y la sangre de las disciplinas particulares en el ordenado y coherente cuerpo de conocimientos".

1.3 Tendencias que buscan la aplicación práctica de la Teoría General de Sistemas

En los puntos anteriores discutíamos la Teoría General de Sistemas, tal como la plantean sus pioneros (Von Bertalanffy, Boulding y otros). A partir de esta teoría han surgido varias tendencias que buscan su aplicación práctica a través de las ciencias aplicadas. Por ejemplo, existe un buen número de nuevos desarrollos que intentan alcanzar el objetivo señalado más arriba. Entre otros, podemos enumerar los siguientes:

a) La Cibernética

Esta nueva ciencia, desarrollada por Norbert Weiner del MIT en su clásico libro "Cibernética",[10] se basa en el principio de la retroalimentación (o causalidad circular) y de homeóstasis; explica los mecanismos de comunicación y control en las máquinas y los seres vivos que ayudan a comprender los comportamiento generados por estos sistemas que se caracterizan por sus propósitos, motivados por la búsqueda de algún objetivo, con capacidades de auto-organización y de auto-control.

Según S. Beer, Wiener, al definir la cibernética como "la ciencia de la comunicación y el control en el animal y en la máquina", apuntaba a las leyes de los sistemas complejos que permanecen invariables cuando se transforma su materia. Considerándola en su sentido más amplio, Beer[11] la define como "la ciencia de la organización efectiva". Allí señala que las leyes de los sistemas complejos son invariables, no frente a las transformaciones de su materia, sino también de su *contenido*. Nada importa, dice Beer, que el contenido del sistema sea neurofisiológico, automotor, social o económico.

b) La Teoría de la Información

Esta introduce el concepto de información como una cantidad mensurable, mediante una expresión isomórfica con la entropía negativa en física. En efecto, los matemáticos que han desarrollado está teoría han llegado a la sorprendente conclusión de que la fórmula de la información es exactamente igual a la fórmula de la entropía, sólo con el signo cambiado, de donde se deduce que:

$$\textit{información} = -\ \textit{entropía o}$$
$$\textit{información} = \textit{neguentropía}$$

Ahora bien, la entropía (positiva en física es una medida de desorden. Luego la información (o entropía negativa) o neguentropía es una medida de organización. En este sentido, es interesante observar una conclusión a que ha llegado J.J. Miller[12] que señala que, mientras más complejos son los sistemas (entendiéndose por complejidad el número

[10] N. Wiener, "Cybernetics", (Cambridge Mass MIT Press, 1961).

[11] S. Beer, "*Práctica Cibernética en el Gobierno*", (Santiago, CORFO 1973). Título original en inglés "Fanfare for Effective Freedonm". Conferencia dictada en Brighton, Inglaterra, en Febrero de 1973.

[12] J.J. Miller, "The Living Systems", *Behavioral Sciences*.

posible de estados que puede presentar cada parte y el número de las posibles relaciones entre esas partes) mayor es la energía que dichos sistemas destinan tanto a la obtención de la información como a su procesamiento, decisión, almacenaje y/o comunicación.

c) La Teoría de los Juegos (o Games Theory)

Desarrollada por Morgenstein y, principalmente, por von Neuman, trata de analizar, mediante un novedoso marco de referencia matemática, la competencia que se produce entre dos o más sistemas racionales (o por parte de un sistema) antagonista, los que buscan maximizar sus ganancias y minimizar sus pérdidas (es decir, buscan alcanzar o "jugar" la estrategia óptima).

A través de esta técnica se puede estudiar el comportamiento de partes en conflicto, sean ellas individuos, oligopolios o naciones. Evidentemente, aun los supuestos sobre los cuales descansa esta teoría son bastante restrictivos (suponen conducta racional entre los competidores), sin embargo, su avance, es decir, la eliminación, o al menos, la extensión o mayor flexibilidad de los supuestos dependerá del avance realizado no sólo en este campo, sino en campos afines, como son la conducta o dinámica de grupos y, en general, la o las teorías que tratan de explicar y resolver (o predecir) los conflictos.[13]

d) La Teoría de la Decisión

En general, en este campo se han seguido dos líneas diferentres de análisis. Una es la Teoría de la Decisión misma, que busca analizar, en una forma parecida a la Teoría de los Juegos, la selección racional de alternativas dentro de las organizaciones o sistemas sociales. Se basa en el examen de un gran número de situaciones y sus posibles consecuencias, determinando así (por procedimientos estadísticos, fundamentalmente basados en la toma de las probabilidades), una decisión que optimice el resultado.

La otra línea de análisis, encabezada básicamente por H.A. Simon, es el estudio de la "conducta" que sigue el sistema social, en su totalidad y en cada una de sus partes, al afrontar el proceso de decisiones. Esto ha conducido a una teoría "conductista" de la empresa[14] a diferencia de la

[13]De hecho, y para indicar la relevancia que ha tomado el estudio de los conflictos, existe ya, por lo menos, una publicación especializada en este tema.

[14]Ver por ejemplo a Cyest y March: "*A Behavioral Theory of the Firm*" (Englewood-Cliffs, Prentice-Hall Inc. 1963).

teoría económica, muy en boga entre los economistas que han desarrollado la teoría de la competencia perfecta y/o imperfecta (Boulding, Chamberling, y otros). En ella se estudia el comportamiento de estos sistemas sociales que se caracterizan por perseguir ciertos objetivos.

Esta aproximación ha modificado sustancialmente la teoría administrativa al describir el comportamiento de los centros de decisiones, enfatizando el problema de las comunicaciones y sus riesgos, etc.

e) La Topología o Matemática Relacional

La Topología ha sido reconocida como un área particular de las matemáticas en los últimos 50 años, y su principal crecimiento se ha originado dentro de los últimos 30 años. Es una de las nuevas ramas de las matemáticas que ha demostrado más poder y ha producido fuertes repercusiones en la mayoría de las antiguas ramas de esta ciencia y ha tenido también efecto importante en las otras ciencias, incluso en las ciencias sociales. Partió como una respuesta a la necesidad del análisis clásico del cálculo y de las ecuaciones diferenciales. Sin embargo, la topología no es una rama del análisis, sino una especie de geometría, una geometría más bien de pensamiento geométrico basado en la prueba de la existencia de un cierto teorema, en campos tales como las redes, los gráficos, los conjuntos.

Su aplicación al estudio de las interacciones entre las partes de los sistemas (sociales o de otro tipo) se hace evidente. Por ejemplo, L. Spier[15] expresa la teoría de los gráficos como un método para comprender la conducta administrativa. Señala que es una gran ayuda para ilustrar las propiedades estructurales de un problema administrativo, o de una estructura organizacional y las propiedades de las conexiones entre sus partes.

f) El Análisis Factorial

Es decir el aislamiento, por medio del análisis matemático, de los factores en aquellos problemas caracterizados por ser multivariables.

Su aplicación se ha concentrado en diferentes áreas; dentro de las ciencias sociales especialmente en psicología.

En esta ciencia, este planteamiento trata de determinar las principales

[15]L. Spier. "Graph Theory as a Method for Exploring Business Behavior" en J. W. Mc Guire *Interdisciplinary Studies in Business Behavior*, (Chicago, South Western Pub. Co. 1962, pp. 10-98.

dimensiones de los grupos (por ejemplo, en el estudio de la dinámica de grupos), mediante la identificación de sus elementos claves. Esto significa que se puede medir en un gran grupo una cantidad de atributos y determinar un número bastante más limitado de dimensiones independientes, por medio de las cuales pueda ser más económico y funcionalmente definido medir cualquier grupo particular de una población grupal mayor. En la dinámica de grupos se define como "sintalidad" lo que el término de *personalidad* define en el individuo. Los factores principales encontrados por los psicólogos sociales que apoyan este enfoque son los de energía, habilidad y dirección.[16]

g) La Ingeniería de Sistemas

Se refiere a la planeación, diseño, evaluación y construcción científica de sistemas hombre-máquina. El interés teórico de este campo se encuentra en el hecho de que aquellas entidades cuyos componentes son heterogéneos (hombres, máquinas, edificios, dinero y otros objetos, flujos de materias primas, flujos de producción, etc.) pueden ser analizados como sistemas o se les puede aplicar el análisis de sistemas.

La Ingeniería de sistemas de acuerdo con Hall[17] es una parte de la técnica creativa organizada[18] que se ha desarrollado como una forma de estudiar los sistemas complejos (especialmente industriales). El aumento de la complejidad se pone de manifiesto con el creciente número de interacciones entre los miembros de una población en crecimiento, la acelerada división del trabajo y la especialización de las funciones, el empleo creciente de las máquinas que reemplazan a la mano de obra, con el consiguiente aumento de la productividad y la creciente velocidad y volumen en las comunicaciones y transporte.

h) La Investigación de Operaciones

Es el control científico de los sistemas existentes de hombres, máquinas, materiales, dinero, etc. Quizás la definición más moderna y avanzada en este campo sea la de Staffor Beer, uno de los primeros

[16]M. y H. Knowles, op. cit. p. 21. Ejemplos de estas aplicaciones en el campo del estudio de la dinámica de grupos son entre otros "Las Dimensiones de la Sintalidad de los Pequeños Grupos" por R.B. Cattel, D.P. Saunder y G.F. Stice, *Human Relations*, 1953, VI, 331, "La Emergencia de la Dirección en Pequeños Grupos Temporales de Seres Humanos" por C.A. Gibb, disertación doctoral inédita, Universidad de Illinois, 1949.

[17]A. D. Hall "*Ingeniería de Sistemas*" (México, CECSA ed. 1964).

[18]Según Hall, las partes en que se divide la técnica creativa organizada son 1) La investigación, 2) La ingeniería de Sistemas; 3) Los desarrollos; 4) La Manufactura y 5) su operación.

participantes en el Operational Research, que se creó en Inglaterra durante la Segunda Guerra Mundial, y que, formado por sabios y técnicos de las diferentes ramas del saber, se enfrentó y resolvió problemas particulares presentados por las fuerzas armadas.

Beer define a la investigación de operaciones como: "El ataque de la ciencia moderna a los complejos problemas que surgen de la dirección y la administración de los grandes sistemas compuestos por hombres, máquinas, materiales y dinero en la industria, el comercio, el gobierno y la defensa. Su enfoque distintivo es el desarrollo de un modelo científico del sistema incorporando factores tales como el azar y el riesgo, con los cuales predecir y comparar los resultados de las diferentes decisiones, estrategias o controles alternativos. El propósito es ayudar a la administración a determinar su política y sus acciones de una manera cientifica".[19] Esta definición después de muchas consultas con los principales expertos británicos en este campo fue adoptada por la "Operational Research Society of Great Britain".

[19]S. Beer, "*Decision and Control*", (London, John Wiley and Sons Inc., 1970), p. 92.

CAPITULO 2

Sinergia y recursividad

Nuestro objetivo en el capítulo anterior fue exponer el nuevo enfoque o método científico que se ha denominado Teoría General de Sistemas. El camino más lógico a seguir —aparentemente— sería definir de inmediato lo que se entiende por "sistemas". Sin embargo, creemos que para una mejor comprensión debemos aún detenernos y discutir los conceptos importantes que servirán para la mejor comprensión de lo que es, en definitiva, un sistema. Por esta razón destinaremos este capítulo a discutir dos conceptos centrales en la teoría de sistemas: nos referimos a la idea de Sinergia y a la idea de Recursividad.

2.1 Sinergia

Sin duda alguna, cuando ya se conoce lo que es sinergia, quizás la única conclusión a que se llegue es que su novedad está en la palabra, porque el concepto es conocido. En efecto, de acuerdo con nuestras informaciones, ya el concepto de Gestalt, importante idea de la escuela de los campos en psicología, desarrollada por Kurt Levin, implica la idea de sinergia. ¿Qué es sinergia? o ¿cuándo existe sinergia?: simplemente, cuando 2 + 2 no son cuatro sino 5 u otra cifra. En otras palabras, cuando la suma de las partes es diferente del todo; cuando un objeto cumple con este principio o requisito decimos que posee o existe sinergia.

Pero existe otra explicación de sinergia que, creemos, resulta más clara y útil para nuestros propósitos. Nos referimos a aquella definición propuesta por el filósofo Fuller. Señala que un objeto posee sinergia cuan-

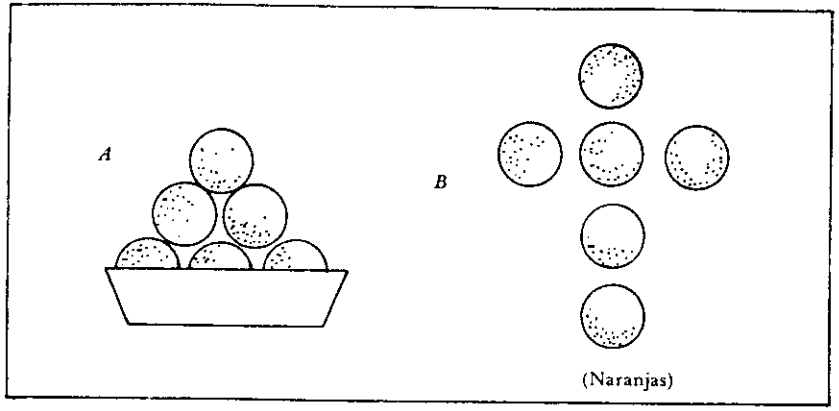

Figura 2.1

do el examen de una o alguna de sus partes (incluso a cada una de sus partes) en forma aislada, no puede explicar o predecir la conducta del todo. Observemos esta definición a través de un ejemplo. Supóngase seis naranjas distribuidas en dos formas diferentes, como lo indica la figura 2.1.

Evidentemente que en el caso A nos encontramos con una fuente que contiene naranjas, mientras que en el caso B hemos dispuesto las naranjas de tal modo que forman una figura en particular; concretamente, una cruz. Ahora, pidámosle a una persona que examine una naranja del agrupamiento A y preguntémosle si es capaz de describir el conjunto. Esta persona tomará una naranja y al examinarla dirá que supone que las restantes tienen más o menos el mismo color, más o menos el mismso diámetro, que están maduras, etc. Y es posible que esta descripción, si la naranja escogida es representativa del resto, sea bastante acertada.

Pero ahora, pasémosle a esa misma persona una o dos naranjas de la segunda agrupación (B) y, suponiendo que no conoce la forma en que están dispuestas, le pidamos lo mismo que en el caso anterior. Seguramente lo más probable es que describa al conjunto en forma muy similar al caso anterior. Sin embargo, esta vez se equivocará. ¿Por qué? Simplemente porque el grupo B de naranjas es algo más que seis naranjas, es una organización, una configuración que implica ubicación y relación entre las partes. En este caso, evidentemente, no se da que el todo (la cruz de seis naranjas) sea igual a la suma de sus partes, como en el caso A. Este es un ejemplo típico de sinergia. Ejemplos abundan. Los espectadores en un estadio, aparentemente, son una totalidad en que la suma de ellos da esa totalidad. En efecto, nos basta con examinar tres o

cuatro para predecir la conducta de la totalidad de los espectadores. Los ocupantes o pasajeros de un bus o un metro, en la mañana a una hora determinada, cuando viajan hacia su trabajo, también forman un conjunto sin ninguna relación entre ellos. Leerán, sentados o de pie, el diario o un libro, se levantarán y bajarán cuando lleguen a su destino, y así abandonarán al conjunto sin que éste sufra un cambio significativo.

- Existen objetos que poseen como característica la existencia de sinergia y otros no. En general, a las totalidades provistas de sinergia podemos denominarlas conglomerados. En este sentido, un conglomerado (como la fuente de naranjas), se supone sin sinergia, es decir, que la suma de sus partes es igual al todo. Si observamos la diferencia entre un sistema y un conglomerado tendremos que concluir que ella reside en la existencia o no de relaciones o interacciones entre las partes (esto es en realidad lo que produce esa diferencia entre la suma de las partes y el todo-sinergia). Sin embargo, es probable que en este momento pueda surgir un físico que diga: ¡Alto!, en la fuente de naranjas existe interacción, hay vectores de fuerza que interactúan anulándose mutuamente" (permaneciendo así en equilibrio). En realidad, un psicólogo y un sociólogo podrán decir que hay interacción entre los espectadores en el estadio (puede que la presencia de uno haga reaccionar el inconsciente de otros). Por lo tanto, podemos llegar a la conclusión de que el conglomerado no existe en la realidad, que es sólo una construcción teórica. Sin embargo, el concepto de conglomerado, para ciertos efectos es una herramienta de análisis importante (aquí yace la base de nuestra estadística). Por esta razón, y para fines de investigación y estudio podríamos definir al conglomerado como un conjunto de objetos, de los cuales abstraemos ciertas características, es decir, eliminamos aquellos factores ajenos al estudio y luego observamos el comportamiento de las variables que nos interesan. Serán un conglomerado si las posibles relaciones que entre ellos se desarrollan no afectan la conducta de cada una de las partes. Así, los espectadores del estadio, para efectos de ciertos análisis, son un conglomerado (estudio de reacciones ante el partido); los pasajeros del bus son un conglomerado (para predecir su conducta como tales); las naranjas en la fuente lo son, en la medida que los vectores de fuerza se anulan y por lo tanto, no modifican la conducta de cada una de las partes.

Antes de prosguir creemos conveniente discutir aquí el concepto de objeto. Si abrimos un diccionario y buscamos este término podremos leer: "Todo lo que puede ser materia de conocimiento o sensibilidad de parte del sujeto, incluso este mismo" (RAE). "Cualquier cosa que se ofrece a la vista y afecta los sentidos" (LAROUSSE).

Un objeto es algo que ocupa un lugar en el espacio. Sin embargo, creemos que esta definición se encuentra un poco restringida. Cuando hablamos de espacio estamos pensando en un mundo tridimensional. Pero surgen algunos problemas. Por ejemplo, en el caso de sinergia, observábamos la importancia que adquirían las relaciones. En un grupo social, el contacto, la comunicación entre los miembros del grupo es "algo", que no cae dentro de la categoría de objeto. Los pensamientos también son intangibles. No ocupan un lugar en el espacio y, sin embargo, existen. Más aún, existen sistemas abstractos, conceptos que están en la mente y que explican algún aspecto de la realidad. Tampoco son objetos. No obstante, nuestra intención es incluirlos en esta categoría. Podemos hacerlo si al espacio tridimensional le agregamos la cuarta dimensión, el tiempo. De este modo (y para nuestros efectos) un objeto es todo aquello que ocupa un lugar en el espacio y/o en el tiempo. Así llegamos a una idea de objetos que abarca todo, lo tangible y lo intangible.

Volviendo a la sinergia, podemos observar que existen objetos (de acuerdo con nuestros conceptos) que poseen o no poseen sinergia. Ya hemos destacado la importancia de este concepto en la explicación de fenómenos. Sin embargo, como herramienta de análisis se hace más poderosa porque si descubrimos que el objeto que estamos estudiando posee, como una de sus características, la sinergia, de inmediato el sistema reduccionista queda eliminado como método para explicar ese objeto. El no reconocimiento de este hecho nos ha ocasionado múltiples y serios problemas. Recuerdo que hace 10 ó 15 años atrás, comenzaba a estar de moda la Reforma Agraria y más de un diario, más de un intelectual, más, incluso, de un economista, pensaban seriamente, que con la aplicación de la reforma agraria se resolvería el problema (a lo menos parcialmente) de la dependencia económica y, en cierta medida, del subdesarrollo.

Hasta hace muy poco se hablaba de la participación como el sistema de administración que solucionaría todos los problemas habituales de las Empresas. Se ha tratado de aplicarla, pero los resultados son ya conocidos. Ha sido un fracaso. Evidentemente, los motivos son múltiples, pero uno de ellos es que se estudió y se aplicó este sistema con un criterio mecanicista, se estudió una parte del objeto (empresa) y se modificó, pero se olvidaron las otras relaciones, características de un objeto con sinergia.

Quizá un buen ejemplo de este problema de las relaciones es uno planteado por el profesor Maruyama[1] a propósito de la retroalimentación

[1]Maruyama, "The Second Cybernetics: Deviation-Ampliflying Mutual Causal Processes", *American Scientists* (1963). p.p. 164-79.

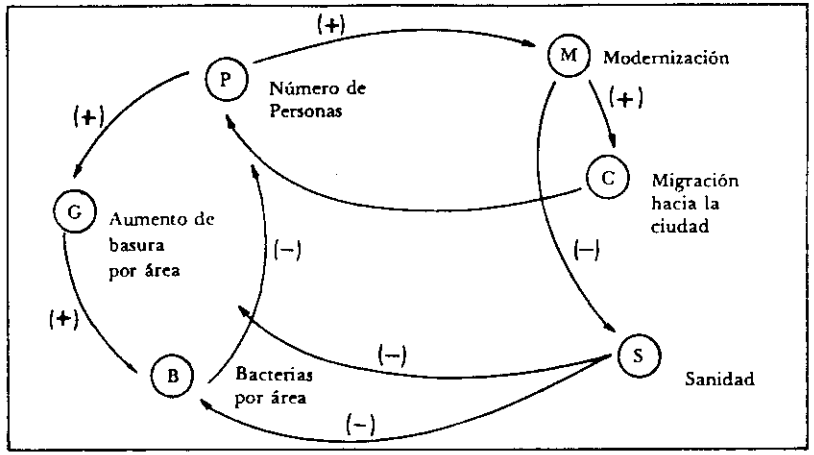

Figura 2.2

positiva en un "objeto" en que existen relaciones causales mutuas (para nosotros existen, simplemente, relaciones entre las partes). Grafica su ejemplo de acuerdo con la figura 2.2.

Las flechas indican la dirección de la influencia. El signo + señala que el cambio ocurre en la misma dirección, pero no es, necesariamente, positivo. Así, el signo + entre G (cantidad de basura por área) y B (bacterias por área) indica un aumento en la cantidad de desperdicios por área causando un incremento de las bacterias por área. Pero, señala Maruyama, al mismo tiempo indica que una disminución del desperdicio causa también una disminución en el número de bacterias por área. El signo — (negativo) indica un cambio en la dirección. Así, la relación negativa entre S y B indica que un aumento en los recursos sanitarios hace decrecer la cantidad de bacterias y, viceversa, una disminución de estos recursos hace subir el número de bacterias por área.

Aquí nos encontramos frente a una situación tal que el análisis particular de un par de variables del problema no nos permite predecir la conducta del todo. Aquí está esperando la sinergia. Si modernizamos una ciudad, por ejemplo, podemos llegar a reducir su población, que puede no ser el efecto esperado. En consecuencia, observemos el fenómeno a partir de este modelo de relaciones.

1. A mayor modernización, mayor migración
2. A mayor migración, mayor número de personas.
3. A mayor número de personas, mayor es la basura y desechos por área.

4. A mayor basura, mayor número de bacterias.
5. A mayor número de bacterias, mayor número de enfermedades.
6. A mayor número de enfermedades, menor es el número de habitantes.

Es evidente que si la tasa de mortalidad es mayor que la tasa de migración (por la modernización) y la tasa vegetativa propia de la ciudad, el resultado será negativo. Por supuesto que si incluimos en el cuadro otras variables relacionadas (equipos sanitarios) el cuadro cambia.

Pero esto significa también reconocer que aquellos que veían la panacea en la reforma agraria o en la participación, perfectamente podrían caer (y más de alguno cayó) en este fenómeno. Es necesario, entonces, comprender que, cuando la situación en estudio posee sinergia o es un objeto sinérgico, el análisis, o los mecanismos aplicados sobre ella para que desarrolle una cierta conducta esperada, debe tomar en cuenta la interacción de las partes componentes y los efectos parciales que ocurren en cada una de ellas.

La empresa es una totalidad con sinergia. Esto ya ha sido reconocido hace bastante tiempo. Así, por ejemplo, podemos observar que Peter F. Drucker, sin mencionar el término sinergia lo describe admirablemente.[2]

Señala textualmente:

> "La empresa debe ser capaz, por definición, de producir más o mejor que todos los recursos que comprende. Debe ser un verdadero todo: mayor que la suma de sus partes, o, por lo menos, diferente a ella, con un rendimiento mayor que la suma de todos los consumos".

Luego indica:

> "La empresa no puede ser un agrupamiento de recursos. Para convertir los recursos en empresa no es suficiente reunirlos en orden lógico y luego girar la llave del capital, como creían firmemente los economistas del siglo XIX (y como creen aún muchos de sus sucesores entre los economistas académicos). Lo que se necesita es una transmutación de los recursos. Y esto no puede venir de un recurso inanimado como el capital. Requiere dirección".

Más adelante plantea un pensamiento que, a nuestro juicio, es de una honda significación y que merecería una meditación aparte. Señala:

[2]P.F. Drucker, "*La Ciencia de la Gerencia*" (B. Aires, Ed. Sudamericana, 1970) pp. 23-24.

> "De todos los recursos de que dispone el hombre, el único que puede crecer y desarrollarse es el hombre mismo. Solamente lo que un gran escritor político medieval (Sir John Fortescue) llamó "*intentio populi*", es decir, el esfuerzo dirigido, enfocado y conjunto de los seres humanos libres, puede producir un verdadero todo. En realidad, hacer un todo que sea mayor que la suma de sus partes ha sido desde los días de Platón la definición de la "Sociedad Ideal".

H.J. Ansoff, en su libro Corporate Strategy,[3] dedica todo un capítulo al problema de la sinergia, tratándola como uno de los factores que deben ser tomados en cuanta para un método de decisión estratégica y la describe como "una medida de los efectos unidos", identificándola con el efecto "2 + 2 = 5", bastante utilizado en la literatura de empresas y de negocios. Con la ayuda de símbolos matemáticos simples, Ansoff busca el significado, desde el punto de vista de administración, del concepto de sinergia. Señala que cada producto de la empresa hace una contribución a la rentabilidad de ella. Cada producto aporta una venta anual de S escudos. Los costos de operación de 0 escudos corresponden al trabajo, materiales, gastos generales, administración, y depreciación. Con el fin de desarrollar el producto, contando con los medios y los equipos, y diseñar una red de distribución, debe invertirse una suma de I escudo lo que incluye también el desarrollo del producto, las herramientas, máquinas, inventarios, etc. La tasa anual de retorno del producto *P*, puede escribirse de la siguiente forma:

$$(R\ A\ I) = \frac{S_1 - 0_1}{I_1}$$

es decir, el retorno anual de la inversión de un producto se puede obtener dividiendo la diferencia de los ingresos y costos de operación durante un período, por la inversión promedio que es necesaria para apoyar al producto. Esto puede ser desarrollado, en forma similar para cada uno de los productos de la empresa (P_1, P_2, . . . P_n).

Ahora bien, *si no existe relación alguna entre los diferentes productos,* las ventas totales de la empresa serán:

$$S_T = S_1 + S_2 + \ldots + S_n$$

En forma similar, los costos de operación y la inversión serán:

$$0_T = 0_1 + 0_2 + \ldots + 0_n$$
$$I_T = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$$

[3]Nuestras citas se basan en el original en ditto. Por esta razón nos es difícil identificar las citas en las páginas del libro ya impreso.

y el retorno de la inversión para la empresa en su totalidad será:

$$(RAI)_T = \frac{S_T - 0_T}{I_T}$$

Sin embargo, en la mayoría de las empresas existe la ventaja de la "economía de escala" mediante la cual una empresa grande, con la misma suma total de ventas que la suma de las ventas de una serie de empresas pequeñas, puede operar con un costo que es menor que la suma de los costos de operaciones de cada una de esa serie de empresas pequeñas.

De igual forma, la inversión en una empresa de tamaño grande puede ser más baja que la simple suma de las respectivas inversiones de las empresas más pequeñas.

Esto equivale a decir que para

$$S_s = T_t$$

en que S es la cantidad de una empresa grande y T es la suma de las empresas independientes.

Tenemos

$$0_s - 0_t$$
$$I_s - I_t$$

De acuerdo con esto, el retorno de la inversión potencial de una empresa grande (o integrada) es mayor que el retorno compuesto que se obtendría si el mismo volumen de pesos para sus respectivos productos fuera producido por un cierto número de empresas independientes, es decir:

$$(RAI)_s > (RAI)_t$$

La consecuencia de este efecto unido a sinergia es claramente ventajoso. Una empresa que se preocupa de seleccionar sus productos y sus mercados de modo de optimizar este efecto (o su sinergia) posee una gran flexibilidad en un mercado competitivo, puede bajar los precios, y ampliar sus recursos en el estudio y desarrollo de productos, etc.

Ansoff clasifica los diferentes tipos de sinergia en términos de los componentes de la fórmula del R A I. Así, por ejemplo, se puede observar

la presencia de sinegia en el caso de las ventas, cuando diferentes productos utilizan canales comunes de distribución, una administración de ventas también común, almacenes comunes, etc. Lo mismo sucede con la promoción y la publicidad; una forma de sinergia que no se presenta explícita en la fórmula, pero que es importante es la "sinergia administrativa". La experiencia administrativa de una empresa es una fuente de sinergia. Si una empresa al entrar en una industria encuentra problemas similares a los que enfrentó o enfrenta en otra industria, se encuentra en una posición más ventajosa que si la actual situación fuera totalmente nueva.

Resumiendo, los objetos presentan una característica de sinergia cuando la suma de sus partes es menor o diferente del todo, o bien cuando el examen de alguna de ellas no explica la conducta del todo. Esto nos lleva a la conclusión que, para explicarnos la conducta global de ese objeto, es necesario analizar y estudiar todas sus partes y, si logramos establecer las relaciones existentes entre ellas, podremos predecir la conducta de este objeto cuando le aplicamos una fuerza particular, que no será, normalmente, la resultante de la suma de efectos de cada una de sus partes. En otras palabras, cuando nos encontramos con un objeto con características sinergéticas (que denominaremos sistemas) debemos tener en cuenta la interrelación de las partes y el efecto final será un "efecto conjunto".

Sin embargo, esto nos conduce a otro problema que puede ser sumamente serio. Gran parte de los estudios sobre conducta de grandes poblaciones se realizan a través de una técnica estadística denominada muestreo, que consiste básicamente en extraer representativos de éstas, analizarlos y luego extrapolar las conclusiones a toda la población. Ejemplos de este método los observamos en los estudios de los medios de comunicación masiva, ampliamente utilizados por las agencias de publicidad para determinar el medio que se utilizará en una determinada propaganda; las encuestas de opinión pública; la metodología para determinar el nivel de la cesantía o la desocupación en una comunidad, etc.

Sin duda alguna, este método es muy efectivo, ya que nos evita efectuar un censo, es decir, el estudio de cada uno de los miembros de una población. ¿Sería posible imaginar el costo y el tiempo empleado en llevar a cabo un censo de ocupación del Gran Santiago (3.500.000 de personas)? ¿Podría estimarse esta cifra con una frecuencia, digamos, mensual? Imposible.

Sin embargo, si por una parte decimos que la suma de las partes no es igual al todo, y si aplicamos la técnica de muestreo ¿no estamos pen-

sando precisamente que analizando algunas partes podremos comprender al todo? Aparentemente podría existir aquí una contradicción. Y, sin embargo, no la hay. De hecho la técnica estadística del muestreo (bien desarrollada) da y ha dado resultados excelentes. ¿Por qué? Simplemente, porque cuando utilizamos la técnica del muestreo suponemos (implícita o explícitamente) que los elementos componentes de la población o el conjunto bajo estudio son independientes entre sí. Y si son independientes las partes, entonces no existe sinergia y la suma de las partes es igual al todo. Por ejemplo, si en una población de 10.000 personas, existen 4.500 hombres y 5.500 mujeres, y si sacamos una muestra representativa de esa población de 100 personas, es muy probable que ella indique que 44 ó 46 son hombres y 58 ó 54 son mujeres. En este caso la categoría hombre-mujer es independiente.

Cuando estamos hablando de elementos independientes, evidentemente estamos diciendo que no existe interacción entre ellos, interacción que afecte el comportamiento de la variable en estudio. Puede existir una infinidad de interacciones entre aquellos hombres y mujeres, pero, para los efectos de separarlos entre hombres y mujeres, hay independencia y, en ese sentido, son elementos aditivos. En el mismo caso de la cesta de naranjas que citábamos al comienzo de este capítulo

Pero aquí existe un hecho que es importante. Cuando hablamos de hombre o mujer, de narnajas, de cesantes, etc. estamos pensando ya en totalidades. Totalidades dentro de una totalidad mayor. Esto nos lleva al segundo concepto que deseábamos discutir en este capítulo: el concepto de recursividad.

2.2 Recursividad

Podemos entender por recursividadd el hecho de que un objeto sinergético, un sistema, esté compuesto de partes con características tales que son a su vez objetos sinergéticos (sistemas). Hablamos entonces de sistemas y subsistemas. O, si queremos ser más extensos, de supersistemas, sistemas y subsistemas. Lo importante del caso, y que es lo esencial de la recursividad, es que cada uno de estos objetos, no importando su tamaño, tiene propiedades que lo convierten en una totalidad, es decir, en elemento independiente.

Teníamos un conjunto de 6 naranjas. Pero cada una de ellas era una totalidad en particular. Teníamos una población de hombres y mujeres, pero también cada uno es una totalidad particular.

Esto no significa que todos los elementos o partes de una totalidad sean totalidades a su vez. En el caso de las naranjas formando una cruz, cada naranja no forma una cruz. Luego no existe aquí la característica de recursividad en el sentido de que cada una de las partes del todo posee, a su vez, las características principales del todo.

Si tenemos un conjunto de elementos u objetos tales como una célula, un hombre, un grupo humano y una empresa, es probable que, a primera vista, no observemos entre ellos ninguna relación y los consideremos entidades independientes. Sin embargo, un rápido análisis nos puede llevar a la conclusión de que sí existen relaciones. El hombre es un conjunto de células y el grupo es un conjunto de hombres. Luego podemos establecer aquí una recursividad célula-hombre-grupo. Aún más, el hombre no es una suma de células ni el grupo es una suma de individuos, por lo tanto tenemos aquí elementos recursivos y sinergéticos (lo que no sucedía en el caso de las naranajas).

De todo esto se desprende que el concepto de recursividad se aplica a sistemas dentro de sistemas mayores, y a ciertas características particulares, más bien funciones o conductas propias de cada sistema, que son semejantes a la de los sistemas mayores.

Para colocar un ejemplo claro de recursividad, pensemos en una empresa como una totalidad y pensemos en sólo dos aspectos de ella, dirección y producción. Evidentemente, la empresa posee un cuerpo de dirección (sus ejecutivos) y su centro de producción (un departamento bien indentificado). Pero la empresa se divide en subgerencias y tenemos una de ellas, la de ventas, e imaginemos ahora a esta subgerencia como una "empresa" independiente. También posee una dirección (sus propios ejecutivos) y su centro de producción (la realización de las ventas). Pero la subgerencia de ventas se divide a su vez en varios departamentos. Uno de ellos es el de estudio de mercados. Aislémoslo como lo hicimos con la subgerencia de ventas. Podemos observar que posee dirección (su jefe y otros ejecutivos menores) y su aspecto de producción (los estudios y desarrollos del mercado). Nuevamente podemos dividir este departamento en secciones. Una de ellas es la de desarrollo de mercado que posee su propia dirección y su propia producción (por ejemplo, publicidad) y así podemos ir descendiendo hasta llegar al individuo. Este posee varios "sistemas", uno de los cuales es el sistema nervioso que posee su propia dirección (algunos centros cerebrales y la médula espinal) y su producción (movimiento de los músculos). Siguiendo aún más abajo llegamos a la célula, la neurona, por ejemplo, que posee su centro de dirección (el núcleo) y su producción (la emisión de ciertos impulsos eléctricos a través del axón). La ciencia biológica moderna nos puede conducir a seguir reduciéndonos cada vez más.

Todo esto nos indica una recursividad de diferentes sistemas, en los que se presentan en todos y cada uno (o se repiten) ciertas características básicas. Pero, lo que hemos hecho aquí, ¿no es aplicar el método reduccionista, dividiendo a la empresa en sus diferentes partes? Aparentemente así ha sido, pero con una gran diferencia teniendo en mente la idea de recursividad, analizamos las partes en función de un todo. Sabemos que la neurona es parte de un sistema superior, el sistema nervioso y su conducta no la interpretamos a través de las características particulares de cada una de las neuronas para explicarnos el sistema nervioso como una sumatoria (tenemos conciencia de la característica sinergética del sistema). Lo mismo hacemos con el hombre, la sección, el departamento, la subgerencia y, finalmente, la empresa.

La reducción (o ampliación de acuerdo al punto desde el cual observemos el problema) no consiste en sumar partes aisladas, sino integrar elementos que en sí son una totalidad dentro de una totalidad mayor. Sería, por ejemplo, como si quisiéramos estudiar un hogar formado por los padres y tres hijos, analizando a cada uno de ellos por separado y luego sumando los resultados, o lo que aún sería peor, si entrevistáramos al padre y luego extrapoláramos los resultados a todo el hogar o la familia. Evidentemente, aquí no existe recursividad.

Cada uno de los personajes es un sistema dentro de otro sistema mayor, pero resulta que aquella totalidad que denominamos familia u hogar no se repite en cada uno de los elementos que la componen. En otras palabras, la familia, dentro del criterio reduccionista, sería el elemento unitario o "último" o la unidad más pequeña de una totalidad superior (por ejemplo, una comunidad).

Podemos concluir, entonces, que existe recursividad entre objetos aparentemente independientes, pero que esta recursividad no se refiere a forma o, para expresarlo gráficamente, a innumerables círculos concéntricos que parten de un punto (el círculo unitario) y a partir de ese centro vamos trazando con el compás círculos de radio cada vez mayor. No. La recursividad se presenta en torno a ciertas características particulares de diferentes elementos o totalidades de diferentes grados de complejidad.

En cierto modo, podemos señalar que aquí el problema consiste en definir de alguna manera las fronteras del sistema (que será un subsistema dentro de un supersistema mayor, de acuerdo con el concepto de recursividad). En otras palabras, en llegar a establecer una línea imaginaria que separe lo que pertenece al sistema de aquello que no le pertenece. Para llegar a una idea operacional respecto a la definición o delineación de un sistema podemos pensar en el concepto de individualidad.

L. von Bertalanffy[4] se pregunta qué es un individuo y señala que con ello queremos significar un objeto que, espacial, temporal y dinámicamente, constituye algo distinto de todo otro ser de su misma categoría y que, como tal, pasa por un determinado ciclo vital. (P. 53). Individuo significa indivisible, pero, como hemos visto más arriba, un sistema humano (el hombre) es posible dividirlo en otros sistemas (células); es como señalan von Bertalanffy, precisamente "dividuo" y se multiplica a través de la división.

Hablamos entonces de individuos (o sistemas) en el sentido que, aunque formados por otros individuos, su agregación y desarrollo conducen a una creciente individualización en que las partes del organismo se vuelven cada vez más diferenciadas y menos independientes.

Así, un taxi, su chofer e incluso su pasajero forman un sistema, porque constituyen una individalidad. Evidentemente que el taxi por sí solo es un sistema (sistema cerrado); el chofer y el pasajero son individuos de otro tipo de sistema, pero los tres separadamente no forman el sistema taxi. Si agregamos al polícia del tráfico, a otros vehículos de movilización colectiva y de carga, una calle, árboles y casas, podemos sumarlo, reunirlo todo y formar otro sistema, pero este sistema tampoco será un sistema taxi, será algo mayor, y quizá, desde cierto punto de vista de análisis, el taxi pase a ser un subsistema.

Como conclusión, podemos señalar que los sistemas consisten en individualidades; por lo tanto, son indivisibles como sistemas. Poseen partes y subsistemas, pero estos son ya otras individualidades. Pueden formar parte del sistema, pero no son del sistema que deseamos o buscamos. Para encontrarlo, debemos reunir aquellas partes y aquellos subsistemas y eliminar las otras partes y subsistemas que están de más, o pertenecen a otro sistema o, por no tener relación directa con nuestro sistema, sus comportamientos no lo afectan.

En este sentido, el concepto de recursividad va de "individuo" en "individuo", destacándose una jerarquía de complejidad, ya sea en forma ascendente como en forma descendente.

[4] L. von Bertalanffy, "*Concepción Biológica del Cosmos*". (Santiago, Ed. de la Univ. de Chile, 1963), pp. 53-55.

2.3 Sinergia y recursividad

H. Kahn y A.J. Weiner[5] en sus "Comentarios sobre Ciencia y Tecnología" hablan del efecto del "sinergismo" en el avance científico y tecnológico. La sinergia de los descubrimientos entre sí hace más o menos imprevisible el desarrollo del conocimiento, (explicando de paso la idea de su crecimiento exponencial). No se da demasiada importancia a las relaciones mutuas que se establecen entre descubrimientos más o menos simultáneos. Señalan estos autores que

> "La importancia en las relaciones mutuas no sólo radica en el hecho de que los progresos en un campo condicionan o están condicionados por los avances conseguidos en otros, sino que también se debe a que varios descubrimientos realizados independientemente a menudo permiten encontrar soluciones imprevistas a ciertos problemas *o constituyen un todo unitario de mayor envergadura que la simple suma de sus partes*, o conducen a innovaciones de otro tipo con las que no se contaba.[6]

En otras palabras, los descubrimientos aislados y más o menos independientes de características particulares de pronto se arman como un rompecabezas y se descubren las interacciones entre ellas que llevan a pensar y a ubicar a esos descubrimientos parciales como partes de un todo superior, de un sistema de uno o más grados superior en nivel de recursividad del cual se partió. Se habla, entonces, utilizando el lenguaje de S. Beer, de los metasistemas.

Gráficamente, esta idea la podemos interpretar de acuerdo con la figura 2.3, que se basa en un ejemplo de Sinergismo que aparece en la obra de los autores antes mencionados.

Los avances en los estudios del laser ayudaron al descubrimiento de la Holografía. El holograma puede hacer visibles registros y proyecciones en tres dimensiones, y se descubrió como una consecuencia en los estudios de ampliación de imágenes. A su vez, el estudio del laser condujo a un mejoramiento en el conocimiento de la Espectroscopia. Por otra parte, y en forma aislada, se desarrollaba y perfeccionaba la técnica de los computadores.

Al reunir estos cuatro avances relativamente independientes de la ciencia y la tecnología se observó que presentaban características tales que permitían examinar un campo o sistema hasta entonces desconocido

[5]H. Kahn y A.J. Wiener "*El año 2.000*" (B. Aires, Emecé, 1969), p. 108-112.
[6]Ibid, p. 108, la subraya no se encuentra en el texto original.

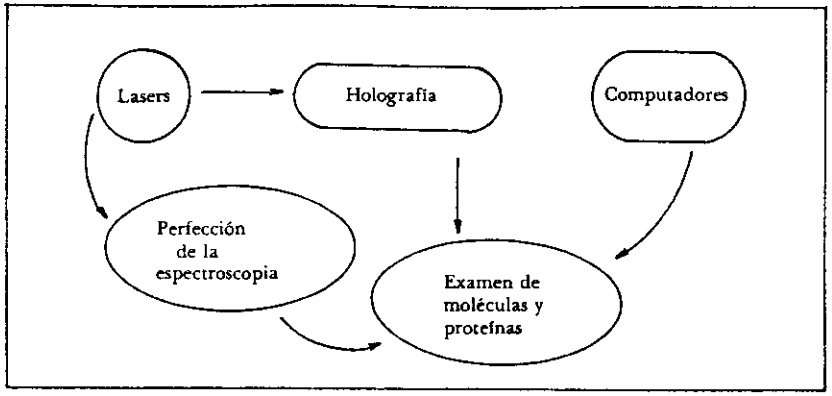

Figura 2.3 Un caso de sinergia y recursividad.

dentro del campo de la bioquímica: las moléculas y proteínas completas. En este caso, los avances de diferentes sistemas permitieron penetrar en un sistema de recursividad inferior, pero importantísimo para la vida por sus consecuencias en la bioquímica, la química y la genética molecular. Del conocimiento de este nuevo sistema deben salir, a su vez, grandes avances de extraordinaria importancia en los campos de la medicina (medicamentos, antígenos, vacunas, drogas y otros) y en la genética (como el control hereditario y otros avances quizá hoy día no imaginados).

Otro ejemplo de la relación entre sinergia y recursividad tomado del libro de Kahn y Wiener es la creación, por parte de Estados Unidos del sistema ofensivo-defensivo "polaris".[7]

Si a principios de la década de 1950 se hubiera pensado en un sistema bélico que permitiera que en 1967 los Estados Unidos ya no dependieran de bases aéreas en diferentes países limítrofes, tanto de su país como de los posibles países potencialmente enemigos (ya que éstos serían reemplazados por submarinos con una gran autonomía de operación y que fueran verdaderas bases de proyectiles atómicos), evidentemente que se habría pensado en una fantasía más al estilo de Julio Verne. Sin embargo, el primer submarino polaris, el "George Washington" fue botado al agua en 1960, iniciándose así el desarrollo de un sueño, aparentemente extravagante.

Efectivamente, para llegar a este resultado, a la creación de un nuevo sistema (artificial) que hizo variar la política mundial en forma profunda, debían superarse a lo menos, un mínimo de seis innovaciones, o

[7]*Ibid.* p. 109.

avances tecnológicos, lo que parecía imposible, es decir, que estos avances estuviesen completamente desarrollados como para poder ser empleados de 1960 en adelante. Las innovaciones que debían desarrollarse eran las siguientes:

1. Un sistema de propulsión nuclear lo suficientemente efectivo y garantizado para su puesta en práctica.
2. Un combustible sólido para impulsar los proyectiles, que fuese, igualmente, lo bastante eficaz y seguro;
3. Un sistema de navegación submarina (el sistema SINS) de suficiente precisión para poderse utilizar por un submarino en acimut y posición;[8]
4. Un sistema de dirección por inercia de bajo peso, seguro y de precisión para ser adaptado al proyectil;
5. Cabezas nucleares de tamaño pequeño con la potencia explosiva necesaria para constituirse en una amenaza poderosa;
6. La implementación del proyecto, fabricación y ensamble de los diez millones de elementos integrantes del sistema, muchos de ellos complejos y sin experimentación.

Aparte de estas innovaciones, Kahn y Wiener señalan que hubo que resolver un mínimo de cuatro problemas. Cada uno de ellos hubiera ocasionado, fácilmente, importantes atrasos.

1. La coordinación de once mil contratistas, que se logró a través de otra nueva innovación, el sistema de programación PERT (lo que a su vez exigió el perfeccionamiento de computadores);
2. El logro de un sistema invulnerable de comunicaciones;
3. El desarrollo de sistemas auxiliares de modo que el submarino pudiese estar sumergido durante sesenta días, sin bajar su confort y eficiencia;
4. El reclutamiento de las personas apropiadas (tripulación) y su capacitación.

En este caso, aunque el objetivo estaba claro (diferencia del caso de las proteínas, en que los avances del conocimiento, la ciencia y la técnica dieron como resultado su estudio), también podemos interpretarlo en el sentido de la recursividad, en este caso, el paso de un nivel de sistema a otro superior.

[8] El acimut es el ángulo medido en sentido retrógrado, desde el Sur hacia el Oeste, formado por los dos planos que contiene la vertical del observador y que pasan, respectivamente, por el punto cardinal Sur y por el astro cuya posición se quiere determinar. Ed. Monitor, SALVAT.

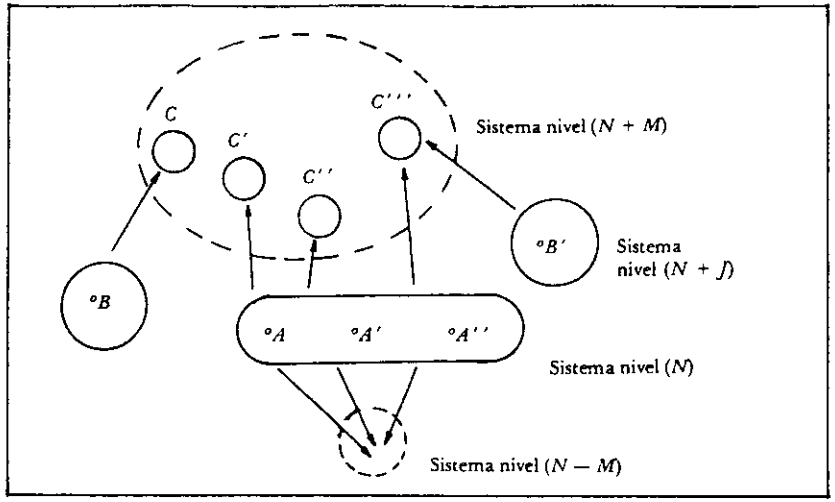

Figura 2.4

La figura N°5 indica esquemáticamente la relación existente entre sinergia y recursividad.

A, *A'* y *A''* son avances científicos y/o tecnológicos (dirigidos o espontáneos) dentro del sistema de nivel *N*; *B* y *B'* son avances científicos y/o tecnológicos de algún (o algunos) sistemas de un nivel superior (y/o paralelo) de nivel. *C*, *C'*, *C''* y *C'''* son resultados, en un comienzo particulares, pero que al analizarlo sinergéticamente dan origen a un sistema de nivel superior (*N* + *M*), que explica esos fenómenos aparentemente independientes.

2.4 Conclusiones

En este segundo capítulo hemos introducido dos conceptos de principal importancia para la comprensión del enfoque de la Teoría General de Sistemas: el concepto de Sinergia y el de Recursividad. Como veremos al comienzo del próximo capítulo, en el que trataremos a los sistemas en forma más sistematizada, la idea de sinergia es inherente al concepto de sistemas, y la idea de recursividad representa la jerarquización de todos los sistemas existentes. Es el concepto unificador de la realidad y de los objetos.

Sin duda alguna, los conceptos de sinergia y de recursividad constituyen dos de las herramientas más poderosas de este enfoque teórico y de-

ben ser considerados en cualquiera investigación de la realidad. Un buen ejemplo del poder de la sinergia lo constituye el descubrimiento sin telescopio del planeta Urano.

CAPITULO 3

Qué es un sistema

Ya en los dos capítulos anteriores nos hemos referido a los sistemas con bastante profundidad, observando las ventajas de su enfoque y sus características más sobresalientes: la sinergia y la recursividad. Nuestro objetivo es ahora sistematizar una serie de conceptos en torno a los sistemas, partiendo de su definición formal, es decir, crear nuestro vocabulario de trabajo. Intentaremos también desarrollar alguna taxonomía o clasificación. Esta materia podría aparecer como una fuerte contradicción del mismo enfoque de sistemas, ya que son justamente las clasificaciones las que conducen al enfoque reduccionista que discutíamos en el primer capítulo. Sin embargo, creemos obviar dicha contradicción al presentar conceptos y no intentar "reducir", objetos hasta llegar a los individuos. Serán sólo clasificaciones o taxonomías generales y globales y, en gran parte, teorías, como veremos más adelante. Comencemos, pues, con las principales definiciones.

3.1. Definiciones

Siendo actualmente los sistemas un tema de moda, abundan las definiciones. El concepto de sistemas ha sido utilizado por dos líneas de pensamiento diferentes. La primera es la teoría de sistemas generales, corriente iniciada por von Bertalanffy y continuada por Boulding [1] y otros. El esfuer-

[1]Este es le enfoque que hemos desarrollado en el capítulo anterior al hablar de la Teoría General de Sistemas. El segundo enfoque, el de las ciencias aplicadas también fue tratado allí con cierta extensión.

zo central de este movimiento es llegar a la integración de las ciencias. El segundo movimiento es bastante más práctico y se conoce con el nombre de "ingeniería de sistemas" o "ciencias de sistemas" iniciada por la Investigación de Operaciones y seguida por la administración científica (Management Sciences) y finalmente por el Análisis de Sistemas.[2]

En general, podemos señalar que, ante la palabra "sistemas", todos los que la han definido están de acuerdo en que es un conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos.

El ser humano, por ejemplo, es un sistema (podríamos añadir un sistema maravillosamente constituido y diseñado) con muchas partes diferentes que contribuyen de distinta forma a mantener su vida, su reproducción y su acción.

Otra definición, que agrega algunas características adicionales, señala que un sistema es un grupo de partes y objetos que interactúan y que forman un todo o que se encuentran bajo la influencia de fuerzas en alguna relación definida.

3.2. Concepto de Gestalt o sinergia

Utilizando cualquiera de estas dos definiciones, podemos imaginar de inmediato una enorme variedad de ejemplos de sistemas. Un sistema puede ser el conjunto de arena en una playa, un conjunto de estrellas, un conjunto sistemático de palabras o símbolos que pueden o no tener relaciones funcionales entre sí. La palabra es utilizada en una forma bastante libre y general dentro de los contextos de los sistemas económicos, sociales, políticos, mecánicos, etc.

Un buen ejemplo de sistema lo constituye un grupo de trabajo, digamos un departamento de Investigación de Operaciones en una empresa. Para los propietarios de esa empresa (accionistas, el gobierno o los trabajadores) este grupo es una unidad administrativa compuesto por un número determinado de personas, que se pueden dividir en jefes y subordinados, y cuyo número (en general) varía lentamente. El cuadro es radicalmente más complejo e interesante para quien está lo suficientemente cerca de este departamento como para observar las acciones dinámicas y los cambios que tienen lugar, hora tras hora, dentro de este grupo humano. Situaciones que parecen "normales" pueden ser relativamente superficiales cuando, por ejemplo, un superior pide algo a un subordinado (o viceversa). Esta acción supone cierta influencia de un personaje sobre el otro. Sin embargo, rara vez esta influencia es unidireccional, porque las reacciones del subordinado a su vez, actúan o reaccionan en el superior y, en general, en todo el sistema.

[2]Un interesante análisis de valor de esta rama del pensamiento sistemático se puede encontrar en J.R. Emshoff, "*Analysis of Behavioral Systems*", (N. York, The Macmillan Co., 1971, pp. 9-23).

Hall,[3] define un sistema como un conjunto de objetos y sus relaciones, y las relaciones entre los objetos y sus atributos. Reconociendo la vaguedad de esta definición, este autor procede a elaborar los términos de objetos y atributos.

Los objetos son simplemente las partes o componentes de un sistema y estas partes pueden poseer una variedad limitada. En la mayoría de los sistemas, estas partes son físicas; por ejemplo, átomos, estrellas, masa, alambre, huesos, neuronas, genes, músculos, gases, etc., aunque también se incluyen objetos abstractos tales como variables matemáticas, ecuaciones, reglas y leyes, procesos, etcétera.

Los atributos son las propiedades de los objetos. Por ejemplo, los objetos recién enumerados tienen, entre otros, los siguientes atributos:

- Atomos: El número de electrones planetarios, la energía atómica, el número de partículas atómicas en el núcleo, el peso atómico.
- Estrellas: Temperatura, distancia de otras estrellas, velocidad relativa.
- Masas: Desplazamiento, momentos de inercia, velocidad, energía cinética.
- Alambres: Fuerza de tensiones, resistencia eléctrica, diámetro, largo.

Nuestro ejemplo del departamento de Investigación de Operaciones posee un cierto número de cualidades que caracterizan a los diferentes tipos de sistemas. Por ejemplo, podemos observar que, al introducir el concepto de control, la mayoría de los sistemas que tienen importancia en el mundo real poseen controles. Esto a su vez implica la presencia de un *plano*, un *diseño* o un *propósito* u *objetivo*. En otras palabras, los sistemas son diseñados (por el hombre o la naturaleza) para alcanzar algo o para realizar algo (alguna función). Así, nuestro departamento de Investigación de Operaciones ha sido diseñado para proveer de in-

[3]Hall, "*Ingeniería de Sistemas*", (México, CECSA, 1964).

formación a la gerencia para la toma de desiciones. La arena en la playa ha sido colocada allí para evitar o disminuir la erosión del mar en el continente, etcétera.

Volviendo a nuestro problema de definición de sistemas, para los propósitos de este trabajo, utilizaremos la elaborada por la "General Systems Society for Research" [4] que define a los sistemas como "un conjunto de partes y sus interrelaciones" la que, como se puede observar, no difiere sustancialmente de las dos definiciones indicadas al comienzo de este capítulo, y que posee la ventaja de ser aceptada por un gran número de teóricos y cientistas que han centrado su interés en esta materia. Por esta razón considero que esta definición adquiere un carácter "legalizado".

3.3 Subsistema

Si observamos con más cuidado las partes de un sistema, ya sea éste el grupo de trabajo, el conjunto de estrellas, el cuerpo humano, la arena en la playa, podemos observar que cada una de ellas posee sus propias características y condiciones. Así, por ejemplo, si volvemos a nuestro grupo de Investigación de Operaciones, podemos observar que las partes del sistema, sus miembros o participantes poseen sus propias condiciones corporales, hábitos, procesos biológicos, esperanzas y temores, que pueden ser muy diferentes de aquellos de los otros integrantes del grupo. Lo mismo es verdad en un sistema matrimonial, en que, a pesar de que la esposa y el esposo declaran que los dos serán uno en el matrimonio, permanecen como dos individuos que comparten intereses comunes. Los astrónomos saben perfectamente que las estrellas componentes de cierta nebulosa poseen características y cualidades que las hacen diferentes de las estrellas de otra nebulosa.

En general, podemos señalar que cada una de las partes que encierra un sistema puede ser considerada como subsistema, es decir, un conjunto de partes e interrelaciones que se encuentra estructuralmente y funcionalmente, dentro de un sistema mayor, y que posee sus propias características. Así los subsistemas son sistemas más pequeños dentro de sistemas mayores.

Sin embargo, el asunto no termina aquí, pues el departamento de Investigación de Operaciones, la playa de arena, el matrimonio y la nebulosa pertenece, a su vez, a un sistema mayor (la empresa, el continente, la comunidad, el universo). Es decir, ellos son a su vez, subsistemas de un sistema mayor o *supersistema*.

[4]/Es una institución que reúne a una gran mayoría de los investigadores en Teoría de Sistemas, de los más variados campos del saber humano.

Los conceptos de subsistema, sistema y supersistema llevan implícita la idea de recursividad, por cuanto los subsistemas y los supersistemas son, además, sistemas. En este sentido, las propiedades generales de los tres elementos son semejantes y fácilmente se pueden encontrar o derivar analogías y homologías. Por ejemplo, los subsistemas de una empresa pueden ser sus diferentes áreas funcionales y el supersistema puede ser la comunidad o la región en la cual desarrolla sus actividades, su entorno. Lo mismo sucede con el hombre como sistema, con sus órganos como subsistemas (o las células) y el grupo como supersistema.

Sin embargo, es fácil caer en error cuando buscamos identificar los subsistemas de un sistema, porque no todas sus partes componentes pueden considerarse subsistemas, si es que queremos respetar el principio de la recursividad. Por ejemplo, el corazón o el aparato nervioso pueden ser subsistemas del hombre, pero no la uña del dedo pulgar. En una empresa puede que una función no cumpla con los requisitos para ser considerada un subsistema, por ejemplo, el chofer de un camión, o del auto del gerente. Lo mismo es aplicable a los supersistemas.

De esto se deduce que tanto los subsistemas como los supersistemas requieren cumplir ciertas *características sistémicas*. Hasta donde alcanza nuestro conocimiento, este punto es bastante discutido y no parecen existir principios generales que determinen cuando una parte es subsistema o simplemente un componente de un sistema.

No obstante, se pueden deducir algunos criterios. El principio de la recursividad ya nos indica algo. Lo que es aplicable al sistema lo es para el super y el subsistema. S. Beer, [5] señala que en el caso de los sistemas viables, éstos están contenidos en supersistemas viables. En otras palabras, la viabilidad es un criterio para determinar si una parte es o no un subsistema y entendemos por viabilidad la capacidad de sobrevivencia y adaptación de un sistema en un medio en cambio. Evidentemente, el medio de un subsistema será el sistema o gran parte de él.

Otro criterio que se puede aplicar a este problema es el de los subsistemas funcionales de Katz y Kahn.[6] Estos autores han desarrollado un modelo funcional de los sistemas dinámicos abiertos (vivos). En efecto, ellos distin-

[5]S. Beer, "Decisions and Control". (London, J. Wiley and Sons Inc., 1970).
[6]Katz y Kahn, "Social Psychology of Organizations". (N. York, J. Wiley and Sons Inc., 1966).

guen cinco funciones que debe cumplir todo sistema viable. Ellas son: 1) las funciones (o subsistemas) de producción, cuya función es la transformación de las corrientes de entrada del sistema en el bien y/o servicio que caracteriza al sistema y su objetivo es la eficiencia técnica; 2) las funciones de apoyo, que buscan proveer, desde el medio al subsistema de producción, con aquellos elementos necesarios para esa transformación; luego son encargadas de la exportación del bien y/o servicio en el medio con el fin de recuperar o regenerar las corrientes de entrada, y, finalmente, son las encargadas de lograr que el medio "acepte" o"legalice" la existencia misma del sistema. En concreto, su objetivo es la manipulación del medio; 3) las funciones o subsistemas de mantención, encargadas de lograr que las partes del sistema permanezcan dentro del sistema; 4) los subsistemas de adaptación, que buscan llevar a cabo los cambios necesarios para sobrevivir en un medio en cambio y, finalmente; 5) el sistema de dirección encargado de coordinar las actividades de cada uno de los restantes subsistemas y tomar decisiones en los momentos en que aparece necesaria una elección.

Así, en el caso de una empresa podemos distinguir fácilmente cada uno de estos subsistemas; *Producción* en el taller o planta; *Apoyo* en las adquisiciones, ventas y Relaciones Públicas; *Mantención* es la función de Relaciones Industriales, *Adaptación* la encontramos en Estudios de Mercados, Capacitación, Investigación y Desarrollo, etc. y finalmente, la *Dirección* en la Alta Gerencia y, en general, en toda la línea ejecutiva.

Ahora bien, si decimos que el hombre es un subsistema de la empresa, deben darse en él las mismas cinco funciones. Así las funciones de producción podrían ser el metabolismo, es decir, la capacidad de combinar las corrientes de entrada para la producción de energía. Las funciones de apoyo las ejecutan ciertos órganos, como el aparato digestivo y el aparato respiratorio. Las funciones de venta se originan en el uso de nuestra energía como fuerza, inteligencia, velocidad, etc. La función de relaciones públicas está en nuestra mente que consciente o inconscientemente busca el reconocimiento de nuestro yo. La función de mantención es desarrollada por nuestra mente, especialmente, a través del cuidado en el uso del cuerpo y de la "mantención preventiva o reparación" frente a enfermedades. La función de adaptación corre por cuenta, en parte, de la evolución orgánica y también de la evolución cultural. Finalmente, el centro director y decididor se encuentra en el cerebro.

El mismo análisis podría ser llevado a cabo para demostrar que la empresa y otros grupos humanos son subsistemas de un supersistema que denominamos comunidad o país. Se puede observar (y Katz y Kahn

lo plantean) que en este supersistema son identificables cada una de las funciones indicadas

3.4. Niveles de organización

Se puede pensar, sobre la base de la idea de recursividad (subsistema-sistema-supersistema) en una cadena que vaya de lo más pequeño hasta lo más grande. Así, si comenzamos por las partículas atómicas de una microscópica parte del cuerpo humano, por ejemplo, terminaremos en el universo en su totalidad (calculado en 1073 moléculas).

Observaremos fácilmente que, a medida que avanzamos de un subsistema a un sistema y a un supersistema (el que a su vez es un subsistema de otro sistema), vamos pasando de estados de organización relativamente simples a estados de organización más avanzados y complejos. En efecto, mientras en el primer sistema tenemos sólo algunas partículas atómicas, ya en el tercero o cuarto tenemos toda una organización celular y en el octavo o noveno, un miembro humano con sus tejidos, piel, vasos sanguíneos, venas, arterias, músculos y nervios, etc.

Lo mismo ocurre con nuestro departamento de investigación de operaciones, sistema que se encuentra compuesto, digamos, por ocho personas. Pero éste es sólo parte, o subsistema de una unidad administrativa mayor; la gerencia de operaciones. Esta, a su vez, es una unidad administrativa (que aparte del departamento de investigación de operaciones posee otros subsistemas, tales como adquisiciones, control de la producción, plantas de producción, unidades de control de calidad, etc.), que forman parte de un sistema mayor: la empresa total. Pero este proceso no termina allí. La empresa misma es un subsistema de una industria (por ejemplo de una planta siderúrgica). La industria es parte a su vez, del sistema industrial, productivo o económico de un país, y así sigue la cadena. Nuevamente podemos apreciar que el grado de complejidad de los sistemas, siguiendo el orden indicado es siempre creciente. Sin duda alguna, la empresa posee una organización o estructura mucho más compleja que el departamento de investigación de operaciones, y la industria total una mucho mayor que la empresa en particular.

Podemos definir para nuestros propósitos, la complejidad, en relación, por una parte, con las interacciones entre componentes y subsistemas del sistema, y por otra, con la variedad de cada uno de los subsistemas. Entendemos por variedad, el número de estados posibles que puede alcanzar un sistema o un componente. Así, un sistema tiende a ser más

complejo cuando tanto las interacciones y la variedad aumentan. Nótese que no se hace referencia al número de partes o subsistemas,[7] sino al número de las interacciones posibles. De todo esto se puede desprender, entonces, que a medida que integramos sistemas vamos pasando de una complejidad menor a una mayor.

En la medida que desintegramos el sistema en subsistemas, vamos pasando de una complejidad mayor a una menor. A la inversa, a medida que integramos subsistemas en sistemas mayores (o sistemas en supersistemas) vamos ganando una mayor comprensión en el todo y las interrelaciones de sus partes. Además, a medida que desintegramos, vamos perdiendo información del todo (o del sistema original) y nos vamos aproximando al método reduccionista, ya que, como indicábamos al comienzo del capítulo primero, este último método, el de aislar las partes (o subsistemas), corresponde al enfoque reduccionista, mientras que la integración representa el enfoque de sistemas.

Kenneth E. Boulding,[8] siguiendo esta idea de complejidad creciente, ha formulado una escala jerárquica de sistemas, partiendo desde los más simples (en complejidad) para llegar a los más complejos.

El primer nivel es aquel formado por las estructuras estáticas. Boulding lo denomina "marco de referecia". Está la geografía y la anatomía del universo (la estructura de los electrones alrededor del núcleo, los átomos en una fórmula molecular, el ordenamiento de átomos en un cristal, la anatomía del gene, de la célula, la planta y los animales, la estructura de la tierra, el sistema solar y el universo astronómico). La descripción cuidadosa y precisa de estos marcos de referencia es el comienzo del conocimiento teórico organizado en prácticamente todos sus campos.

El siguiente nivel en complejidad son los sistemas dinámicos simples con movimientos predeterminados. Este puede ser denominado el nivel del "movimiento del reloj". El sistema solar es en sí el gran reloj del universo, desde el punto de vista del hombre (y la extraordinaria precisión de las predicciones de los astrónomos son un testimonio de la excelencia de este reloj). En este nivel se encuentran desde las máquinas

[7]En efecto, para nuestros propósitos, un sistema compuesto por dos subsistemas y cada uno de ellos con variedad -10 es más complejo que un sistema con 10 subsistemas y cada uno de ellos con variedad 1.

[8]K. E. Boulding, "*The Image*". Ann Arbor, The University of Michigan Press, 19-6. También en "The Skeleton of Sciences", citado anteriormente. El lector debe recordar que en el capítulo primero al discutir el alcance de la Teoría General de Sistemas, presentamos esta jerarquía en forma esquemática; ahora la analizamos con mayor detalle.

más simples, como un nivel, hasta las más complicadas, como los dínamos. Gran parte de la estructura teórica de la física, la química, y aún la economía caen en esta categoría.

El tercer nivel de complejidad son los mecanismos de control o los sistemas cibernéticos, por lo que puede considerarse a este nivel como *termostato*. Estos difieren de sistemas con equilibrios estables simples principalmente por el hecho de que la transmisión e interpretación de información constituye una parte esencial de los mismos. Como un resultado de ésta, la posición de equilibrio no se encuentra simplemente determinada por las ecuaciones del sistema, sino que el sistema se moverá para mantenerse dentro de cualquier estado de equilibrio dado, dentro de ciertos límites. El modelo homeostático, que es de suma importancia en fisiología, es un ejemplo de un mecanismo cibernético, y mecanismos de tal tipo existen a través de todo el mundo empírico de los biólogos y de los cientistas sociales.

El siguiente nivel de complejidad lo constituyen los sistemas abiertos (que se discutirán más adelante en este capítulo). Este es el nivel en que la vida comienza a diferenciarse de las materias inertes y puede ser denominado con el nombre de *células*. Por supuesto que en los sistemas de equilibrio físico-químico existe algo parecido a sistemas abiertos (las estructuras atómicas se mantienen en medio de un movimiento de átomos; las llamas y los ríos son sistemas abiertos de un tipo bastante simple). Sin embargo, a medida que ascendemos en la escala de complejidad en la organización hacia los sistemas vivos, se hace dominante la propiedad de la automantención de la estructura. Junto con esta propiedad aparece otra, la propiedad de la autorreproducción.

El quinto nivel de complejidad puede ser denominado genético-social y se encuentra tipificado por las *plantas* y domina el mundo empírico del botánico. Las características más importantes de este nivel son a) la división del trabajo entre las células para formar una sociedad de células, con partes diferenciadas y mutuamente dependientes (raíces, hojas, semillas, etc.) y b) una profunda diferenciación entre el genotipo y el fenotipo, asociada con un fenómeno de equifinalidad, es decir, los sistemas llegan a un mismo objetivo, aunque difieran sus estados iniciales. En este nivel no existen órganos de los sentidos altamente especializados y los receptores de información son difusos e incapaces de recibir mucha información. Es dudoso si un árbol puede distinguir mucho más allá de la luz y la oscuridad, días largos y días cortos, el frío y el calor, etc. Pero es un hecho que distingue cambios en su entorno; por ejemplo, el girasol y el movimiento solar.

A medida que nos movemos desde la planta al reino animal, gradualmente pasamos a un nivel de mayor complejidad en su organización. Este nivel está caracterizado por un incremento en la movilidad, en la conducta teleológica (con propósito) y en la conciencia. Aquí encontramos desarrollados receptores de información especializados (ojos, oídos, etc.) que conducen a un enorme aumento en la recepción de informaciones. Existe también un gran desarrollo del sistema nervioso, terminando en el cerebro, como un organizador de la información recibida en "imágenes" o conocimientos estructurados.

El séptimo nivel es el nivel *humano,* es decir, el individuo humano considerado como un sistema. Además de casi todas las características del nivel inmediatamente inferior, el hombre posee una conciencia que es algo diferente a la conciencia animal. Sus imágenes, aparte de ser mucho más complejas, se caracterizan por la reflexión. El hombre no sólo sabe, sino que también reconoce que sabe. En su capacidad de hablar, en su habilidad de producir, absorber e interpretar símbolos complejos (como opuesto a los simples signos, como el grito de advertencia de un animal) se encuentra la distinción más clara del hombre de los animales. También puede elaborar imágenes de tiempo y relación.

El octavo nivel de organización lo constituyen las *organizaciones sociales.* A pesar de las historias ocasionales de niños cuidados y criados por animales o la de Robinson Crusoe, prácticamente no existe el hombre aislado de sus semejantes. Tan importante es la imagen simbólica en la conducta humana que se puede sospechar que un hombre verdaderamente aislado no sería "humano", en el sentido generalmente aceptado, (aunque sería potencialmente humano).

La unidad en los sistemas u organizaciones humanas no es el individuo (el ser humano como tal), sino el papel que desempeña aquella parte de la persona que se preocupa de la organización o la situación en cuestión.

Se pueden definir las organizaciones sociales (o cualquier sistema social) como un conjunto de roles interconectados por canales de comunicación.[9] En este nivel debemos preocuparnos del contenido y significado de los mensajes, de la naturaleza y dimensión de los sistemas de valores, de la transcripción de imágenes en los registros históricos, de las simbolizaciones del arte, música y poesía, y de todo el complejo de las emociones

[9]Para una discusión más profunda de esta idea, ver O. Johansen, *"Las Comunicaciones y la Conducta Organizacional"*, (México, Ed. Diana, 1975).

humanas. Aquí el universo empírico es la vida humana y la sociedad con toda su complejidad y riqueza.

Finalmente, el noveno nivel de esta jerarquía de la complejidad de las organizaciones está constituido por los sistemas *trascendentales.* Aquí se encuentran la esencia, lo final, lo absoluto y lo inescapable. Como señala Boulding, "será un día triste cuando nadie pueda hacer una pregunta que no tenga una respuesta".

3.5. Las fronteras del sistema

Cuando observamos una célula en el cuerpo humano o en un vegetal, cuando analizamos un sistema social (por ejemplo, un curso universitario), o cuando buscamos definir una comunidad, la pregunta que nos hacemos es ¿cómo fijamos las fronteras de ese sistema? Por frontera del sistema queremos entender aquella línea que separa el sistema de su entorno (o supersistema) y que define lo que le pertenece y lo que queda fuera de él.

A la jerarquía presentada por Boulding, podemos agregarle un décimo nivel, que comprendería la interacción de *todos* los niveles antes mencionados. Nos referimos al sistema ecológico.[10] Podemos definir a la ecología como una disciplina biológica especializada que se ocupa de las relaciones de los organismos con su mundo circundante. Sin embargo, esta es una definición restringida. A. F. Thienemann,[11] la define como un ciencia natural situada por encima de las especialidades y coordinación de los fenómenos naturales, o mejor aún, la ciencia de la economía de la naturaleza.

La ecología, expresada en estos términos, abarca la totalidad del ser. Su campo de acción es tan amplio que incluye a todas las ciencias naturales y las reúne en una sola estructura. La ecología ha saltado al escenario en los últimos tiempos y ha reunido a muchos hombres en una profunda preocupación. El problema es tan simple como dramático. El sistema ecológico posee un equilibrio que se ha desarrollado a través de millones de años, por medio de la evolución tanto de los seres vivos

[10]Estamos pensando solamente en el ecosistema terrestre. Bien puede extenderse éste al sistema solar y en general, a todo el universo. La presencia de OVNIS y de cohetes terrestres en otros planetas pueden ya estar modificando, aunque aún en forma imperceptible, las relaciones "naturales" que existen entre los diferentes subsistemas del universo. Por esta razón creemos que el tema del ecosistema "total" es un campo de naciente interés y que su importancia ya comienza a ser evaluada.

[11]A. F. Thienemann, *"Vida y Mundo Circundante"*, (B. Aires, E. EUDEBA, 1965), pp. 215-216.

(incluyendo al hombre) como del paisaje geográfico. Este equilibrio es el que regula tanto a la atmósfera produciendo el aire que respiramos (el ciclo vital) como el desarrolo y crecimiento de las especies. Hoy día este sistema tiende a perder su equilibrio. Se está produciendo los que F. Cesarmann[12] denomina "ecocidio", que significa la destrucción de nuestra tierra.

Toda conducta que cambia las situaciones ideales de nuestro medio ambiente, es una manifestación de impulsos ecocídicos.[13] En efecto, nuestra sociedad de consumo y el mundo industrializado están terminando con los recursos naturales. La población crece en una proporción tal que se duplica cada treinta años. La contaminación del mar tiende a hacer desaparecer la fuente principal de fotosíntesis, la contaminación del aire está llegando a límites peligrosos para la vida biológica. Como si todo esto fuera poco, el hombre intenta modificar el paisaje y la geografía. Algunos han pensado crear un gran lago en la zona amazónica. Esto equivale a quitarle un pulmón al hombre.

Un proyecto así (aunque sólo sea una idea) representa una ventaja para una zona en el corto plazo, con un costo de convertir a la América Latina en un desierto. Este es el sistema general de todos los seres vivos y de su regulación depende que estos seres cotinúen vivos. Julian Huxley señala "y el hombre se encuentra ahora, le guste o no, y si lo sabe o no (es muy importante que lo empiece a saber), como el único agente para el futuro del proceso evolutivo total en esta tierra. El es el responsable del futuro de este planeta".[14]

La respuesta a este problema se encuentra en otra pregunta: ¿qué es lo que queremos observar o estudiar?. Evidentemente que si nuestro interés se encuentra en la organización de las células que forman el tejido de la mano, sería absurdo definir nuestro sistema como aquél compuesto por la familia a la cual pertenece la persona que tiene problemas en los tejidos de la mano izquierda (por el contrario, si el hombre padece de una enfermedad psicológica, es posible que el psicólogo incluya en el sistema a toda su familia).

La definición del sistema (o el establecimiento de sus fronteras) puede no ser un problema simple de resolver. Es posible hacer varios intentos

[12]F. Cesarmann, "*Ecocidio: La Destrucción del Medio Ambiente*", (México, Ed. Joaquín Mortiz S.A., 1972).
[13]*Ibid.* p. 13.
[14]J. Huxley, "The Impeding Crisis", en "*The Population Crisis and the Use of World Resources*", (La Haya, W. Junk Pub., 1964), mencionado por Cesarmann *op. cit.*

de definición hasta que por fin encontremos una que encierre nuestra unidad de análisis y sus principales interrelaciones con el medio (o incluyendo aquellas fuerzas de su medio que pueden modificar, y de hecho modifican la conducta de esa unidad de análisis).

La dificultad de fijar las fronteras de los sistemas se debe a las siguientes características de éstos:

1. Es bastante difícil (si no imposible) aislar los aspectos extrictamente mecánicos de un sistema. Por ejemplo, al escribir estas líneas, puedo pensar y estoy viendo como mi mano y sus dedos aprisionan el lápiz y con ciertos movimientos determinados se deslizan sobre el papel. Sin embargo, mal podría explicar este fenómeno si me dedico a observar sólo el sistema mano-lápiz-papel. Indudablemente debe agregar el sistema molecular y las actividades neurales y/o los procesos interpretativos del cerebro.
2. El intercambio o la relación entre sistemas no se limita exclusivamente a una familia de sistemas. Existe un contacto permanente con el mundo exterior. Para escribir estas líneas, mi sistema no sólo está formado por brazo, cerebro, lápiz y papel, sino además por un conjunto de libros y apuntes desparramados sobre el escritorio y que sirven de apoyo a mi trabajo. Existe aquí un continuo cambio de energía y de información entre mi sistema y el mundo exterior.
3. Finalmente existe un continuo intercambio de interrelaciones tiempo-secuencia, pensamos que cada efecto tiene su causa, de modo que las presiones del medio sobre el sistema modifican su conducta y, a la vez, este cambio de conducta modifica al medio y su comportamiento. Las opiniones de cierto autor modifican mis ideas sobre algún aspecto de la materia que estoy escribiendo, pero podría ser que lo que finalmente escriba modificara las ideas de ese autor. Más adelante volveremos sobre este punto.

En todo caso, para la definición de un sistema siempre contaremos con dos conceptos que pueden ser de gran ayuda: la idea de un supersistema y la idea de los subsistemas. De este modo, podemos definir a nuestro sistema en relación con su medio inmediato, por una parte, y en relación con sus principales componentes, por otra.

Así, si mi interés es estudiar una playa de arena, bien puedo limitar mi vista a esa playa, y su frontera estará dada por sus límites geográficos. Pero a su vez, podría definir el supersistema como los objetos que se en-

cuentran inmediatamente al otro lado de las fronteras del sistema (parte del mar y el continente) y que, a mi juicio, inciden fundamentalmente en la conducta del sistema. Por otro lado, puedo definir los subsistemas, que podrían ser en este caso el grano de arena, las rocas, etc. y su constitución o características. Sin duda que, al tomar estos tres niveles de organización para estudiar el nivel del medio, estaremos asegurándonos una mejor comprensión del comportamiento del nivel intermedio de organización que es, precisamente, el que deseamos estudiar.[15]

3.6. Sistemas abiertos y sistemas cerrados

Hemos definido a los sistemas como un conjunto de partes interrelacionadas. Ahora bien, si examinamos esta definición por un momento, llegaremos a la conclusión de que es tan general, que casi no existe objeto en toda la creación que no se encuentre comprendido en ella (excepto lo conglomerado). Hemos hablado de sistema cuando mencionábamos las partículas atómicas (suponiendo que éstas sean las partes más pequeñas conocidas) y también mencionábamos como sistema el universo total (conocido y por conocerse) y también considerábamos como tal la multiplicidad de objetos y relaciones que existen entre estos dos extremos.

Las relaciones a que nos referimos son aquellas que "amarran" al sistema, son los lazos de interacción a través de los cuales las partes modifican a otras y son modificadas a su vez, dando esto como resultante la conducta del sistema. Por esta razón, estas relaciones constituyen la verdadera esencia del sistema y su ruptura trae consigo la ruptura del sistema como tal. En el caso citado anteriormente, el matrimonio, esto es un hecho evidente.

Sin embargo, es imposible decir que para cualquier conjunto de objetos no exista una interrelación, ya que por el simple hecho de existir físicamente en algún contexto, existen fuerzas de atracción y de repulsión. También existen relaciones, como la distancia entre dos objetos de un conjunto. En otras palabras, no existiría el conglomerado,[16] que mencionamos en el capítulo primero. En realidad, podemos definir *teóricamente* un conglomerado como un conjunto de objetos en que se abstraen las interacciones sin interés en una situación dada.[17] De

[15]Si el lector desea más detalles sobre el problema de la fijación de las fronteras del sistema, puede ver "Teoría de Sistemas: Algunos Conceptos Fundamentales", en O. Johansen, "*Sistemas y Organización*".

[16]Conglomerado es aquel conjunto de objetos que no se interaccionan.

[17]Esta definición es el producto de una larga discusión con el profesor F. Canitrot.

acuerdo con esta definición, las relaciones siempre se considerarán en el contexto de un número dado de objetos y dependerán del problema que se trate, incluyendo las relaciones importantes o interesantes y excluyendo las relaciones triviales o no esenciales. Por supuesto que estas decisiones dependerán del investigador y de su criterio para enfrentar el problema.

De acuerdo con estos conceptos de sistemas, observamos el siguiente ejemplo:

Primero, consideremos un número de parte: un resorte, una masa y un cielo raso sólido, sin las interrelaciones (excepto aquellas relaciones lógicas, como que los objetos se encuentran dentro de una pieza común, etc.) Pero si colgamos el resorte del techo y le agregamos al otro extremo la masa, entonces la relación introducida (de conexión física) origina un sistema interesante.

En particular se introducen nuevas relaciones entre ciertos atributos de las partes. El largo del resorte, la distancia de la masa al techo, la tensión del resorte y el tamaño de la masa se encuentran todas interrelacionadas. El sistema así obtenido es uno estático, es decir, sus atributos no cambian con el tiempo. Sin embargo, dado un desplazamiento inicial de su posición de equilibrio, la masa adquiriría una cierta velocidad dependiendo de su tamaño y de la tensión del resorte. Su posición cambia con el tiempo, y en este caso el sistema es dinámico.

Sin embargo, para los efectos del análisis es conveniente hacer una subdivisión entre los sistemas. Esta subdivisión ha dado origen a dos tipos de sistemas: los sistemas cerrados y los sistemas abiertos. Si bien es cierto que todos los estudiosos de sistemas están de acuerdo con esta división e, incluso, con estos nombres, no todos concuerdan en la definición de ellos. Por ejemplo, Forrester, define como sistema cerrado a aquél cuya corriente de salida, es decir, su producto, modifica su corriente de entrada, es decir, sus insumos (ambos conceptos serán discutidos en el capítulo siguiente). Un sistema abierto es aquél cuya corriente de salida no modifica a la corriente de entrada. Un ejemplo del primer paso lo tenemos en el sistema de calefacción en que la corriente de salida, calor, modifica la información que recibe el regulador del sistema, el termostato. Un ejemplo del segundo sistema (sistema abierto) sería un estanque de agua, en el que la salida de agua no tiene relación directa con la entrada de agua al estanque.

M. K. Starr,[18] por otra parte, define en forma diferente a los sistemas

[18]M. K. Strarr, "*Production Management*", (Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall Inc, 1964).

cerrados y abiertos. Para este autor, un sistema cerrado es aquel que posee las siguientes características:

1. Las variaciones del medio que afectan al sistema son conocidas.
2. Su ocurrencia no puede ser predecida (el modelo de comportamiento de la variación es desconocido).
3. La naturaleza de las variaciones es conocida.

Como se puede apreciar, la versión de Starr es bastante similar a la de Forrester. Evidentemente, aquel sistema que no cumpla con las características anotadas será un sistema abierto.

Se puede observar que tanto Starr como Forrester, cuando hablan de sistema cerrado, tienen en mente un sistema con *circuito cerrado*.

Sin embargo, la mayoría de los autores y estudiosos de la Teoría General de Sistemas aceptan características enunciadas por von Bertalanffy [19] (que fue el creador de la Teoría del Sistema Abierto) que señalan que un sistema cerrado es aquel que no intercambia energía con su medio (ya sea de importación o exportación) y el sistema abierto es el que transa con su medio.

Finalmente V. L. Parsegian,[20] define un sistema abierto como aquel en que:

a) Existe un intercambio de energía y de información entre el subsistema (sistema) y su medio o entorno.
b) El intercambio es de tal naturaleza que logra mantener alguna forma de equilibrio continuo (o estado permanente) y
c) Las relaciones con el entorno son tales que admiten cambios y adaptaciones, tales como el crecimiento en el caso de los organismos biológicos.

Otro ejemplo típico de sistema abierto es el hombre, ya que para mantener sus funciones y su crecimiento, su adaptabilidad debe ser energizada por corrientes del medio (oxígeno, alimento, bebida, etc.), que son externas al sistema mismo.

Un ejemplo típico de este sistema abierto es el que se emplea para controlar la temperatura de una pieza, en el sentido que, para mantener sus funciones, tanto el termostato, el motor y los generadores deben ser energizados por corrientes eléctricas u otras fuentes de energía que son externas al sistema mismo.

[19] Von Bertalanffy, "*General Systems Theory*", (N. York, George Brasiller, 1968).
[20] V. L. Parsegian, "This Cybernetic World of Men, Machines and Earth Systems", (N. York, Doubleday Co. Inc., 1973), p. 27-28.

De acuerdo con este autor, un sistema es cerrado cuando se da lo contrario en cada una de las características anotadas más arriba, es decir, no intercambia energía ni información con su medio, aunque pueda experimentar toda clase de cambios, es decir, el sistema se encuentra totalmente aislado, como podría ser el caso del universo total (en la medida que no exista o no tenga sentido algo "exterior" al universo). Sobre esta base Parsegian concluye señalando que "no existe tal cosa denominada un verdadero sistema cerrado o aislado".[21] Sin embargo, continúa este autor, el término es a veces aplicado a sistemas muy limitados que ejecutan sus funciones de una manera fija, sin variaciones, como sería el sistema mecánico que gobierna a una máquina y que simplemente actúa para mantener la velocidad rotacional de una rueda dentro de ciertos valores dados.

Para nosotros y para los efectos de este libro, entenderemos por un sistema abierto, simplemente, aquel que interactúa con su medio, ya sea importando o exportando energía. Esta definición está contenida ya en las características de un sistema abierto indicadas por Parsegian, sin embargo existe una diferencia fundamental, en el sentido de que el sistema abierto debe estar condicionado de tal modo que sea él quien ejecute estas transacciones. Así, si pensamos en un motor de automóvil, para Parsegian éste sería un sistema abierto, pues existe un intercambio de energía y de información (el combustible como energía de entrada y el movimiento como energía de salida). Sin embargo, dentro de nuestra concepción de sistema abierto éste no sería tal, ya que el sistema (el motor) es incapaz por sus medios de aportar la gasolina. Diferente es el caso de un sistema compuesto por el auto y su chofer (digamos un taxi). En este caso el sistema, con su esfuerzo, cambia la corriente de salida por corriente de entrada; con el producto del servicio que entrega el sistema taxi se provee con las energías necesarias para su permanencia y supervivencia. Esta diferencia entre el concepto de Parsegian y el presentado aquí se hará más comprensible cuando tratemos el concepto de entropía en un capítulo más adelante.

Así, un sistema abierto lo definiremos como *aquel sistema que interactúa con su medio, importando energía, transformando de alguna forma esa energía y finalmente exportando la energía convertida. Un sistema*

[21] *Ibid* p. 28.

será cerrado cuando no es capaz de llevar a cabo esta actividad por su cuenta.

De acuerdo con estas definiciones, los sistemas abiertos serían, en general, todos los sistemas vivos (plantas, insectos, células, animales, hombres, grupos sociales, etc.) mientras que los sistemas cerrados estarían representados por todos los sistemas físicos (máquinas, minerales, y en general, objetos que no contienen materias vivas).[22]

[22]Esta es una definición general. Existen sistemas abiertos que no poseen vida, por ejemplo la llama de una vela, una cascada de agua (el salto del Laja) y otros.

CAPITULO 4

Elementos de un sistema

Pasemos ahora a estudiar los elementos o características de un sistema. Para los efectos de este y los siguientes capítulos de esta obra, cuando nos referimos a sistema general, estamos pensando en sistemas dinámicos abiertos, tal como fueron definidos al final del capítulo anterior. Cuando deseemos referirnos a un sistema cerrado, agregaremos su apellido.

En general las principales características de un sistema (abierto) son su corriente de entrada, su proceso de conversión, su corriente de salida, y como elemento de control, la comunicación de retroalimentación.[1]

4.1. Las corrientes de entrada

Hemos indicado ya que, para que los sistemas abiertos puedan funcionar, deben importar ciertos recursos del medio. Así, por ejemplo, el ser humano, para sobrevivir y funcionar, está importando constantemente un número de elementos de su medio: el aire le entrega el oxígeno necesario para el funcionamiento de su organismo; los alimentos (líquidos y sólidos) que son indispensables para mantenerse; el abrigo para protegerse, etc. etc. Las plantas "importan" la energía solar

[1]Señalamos aquí las características que consideramos principales y generales a todo sistema abierto. Existen otras que, por ser más especiales o por ser consecuencia directa de las ya enumeradas, las introduciremos más tarde. Karz y Kahn, en "Social Psychology of Organizations", (N. York, J. Wiley and Sons Inc., 1966) Cap. 11, introducen otras características.

que llega a sus hojas y así sobreviven; un sistema industrial compra recursos materiales (materias primas), recursos financieros, recursos humanos, equipos, etcétera.

Con el fin de utilizar un término que comprenda todos estos insumos, podemos emplear el concepto de "energía". Por lo tanto, los sistemas, a través de su corriente de entrada, reciben la energía necesaria para su funcionamiento y mantención.[2]

En general, la energía que importa el sistema del medio tiende a comportarse de acuerdo con la ley de la conservación, que dice que la cantidad de energía (ya sea ésta representada por materias primas, recursos financieros o recursos humanos) que permanece en un sistema es igual a la suma de la energía importada, menos la suma de la energía exportada.

Sin embargo, existe la corriente de entrada de una energía particular que no responde a esta ley de la conservación. Nos referimos a la información. Efectivamente, el sistema importa información desde su medio a través de sus centros receptores y canales de comunicaciones. Esta forma particular de la corriente de entrada tiene un comportamiento diferente a los recursos anteriormente señalados y por eso merece ser considerada aparte. En realidad no podemos decir que la cantidad de información que se mantiene dentro de un sistema es igual a la suma de las informaciones que entran menos la suma de las informaciones que salen o son "exportadas" por el sistema, como señala la ley de la conservación. En este caso, la información se comporta de acuerdo a lo que he denominado "la ley de los incrementos"[3] que dice que la cantidad de información que permanece en el sistema no es igual a la diferencia entre lo que entra y lo que sale, sino que es igual a la información que existe más la que entra, es decir, hay una agregación neta en la entrada, y la salida *no elimina información del sistema.*

Puede suceder todo lo contrario, es decir, la salida de información puede *aumentar* el total de información del sistema. (Con esta aserción

[2]Utilizaremos aquí el término "corriente de entrada" en vez de "insumo" y lo mismo, "corriente de salida" en vez de producto. Esto por dos motivos: 1) porque insumo da más la idea de objetos físicos y no representa los bienes y/o servicios que genera un sistema, ni da la idea de otros productos como son, por ejemplo, la contaminación del aire, las tensiones y conflictos, productos que el sistema también entrega al medio y 2) porque los conceptos de insumo-producto tienden, para algunos lectores, a ser asimilados al modelo de Insumo-Producto desarrollado por Leontieff para explicar y medir la interrelación que existe entre los diferentes sectores de una economía.
[3]Para análisis, explicación y demostración de la "Ley de los Incrementos" en la información ver *ditto Insora*, 1972.

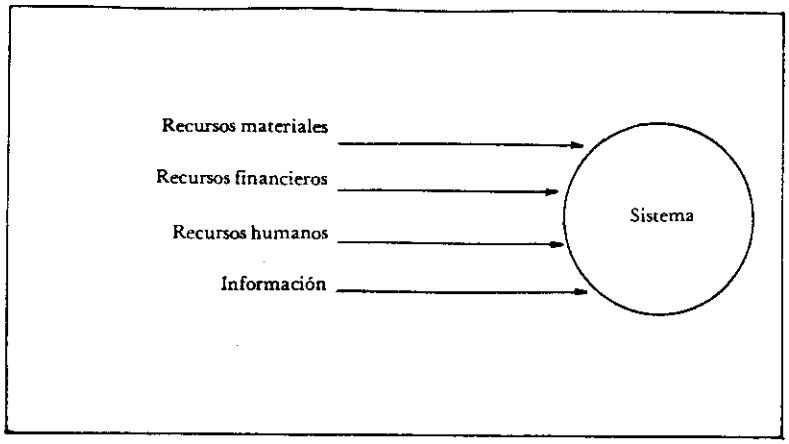

Figura 4.1

se explica aquello de que "la mejor manera de aprender es enseñando". La entrega de información trae consigo mayor información para el sistema).

En realidad, si se aplicara a la información la ley de la conservación, tal como ha sido expuesta más arriba, significaría que si yo leo un libro y enseguida se lo cuento textualmente a mi señora, ella recibe energía *igual* al monto que yo pierdo, es decir, el libro debería olvidarlo completamente lo que, evidentemente, no es así. ¿Podríamos decir que el sistema no "pierde" ninguna información que entra a él? Yo creo que así es. Puede que la olvidemos, pero siempre permanece en nuestra memoria y se hará presente (saliendo de un estado latente) cuando algún mecanismo la provoque.

De acuerdo con lo que hemos señalado hasta aquí y aplicándolo a una empresa económica (industrial, agraria o de servicios) podemos esquematizar gráficamente las principales corrientes de entrada de acuerdo con la figura 4.1.

Efectivamente, en un sistema económico (que es un sistema social por estar constituido —sus partes— por seres humanos) podemos observar nítidamente las operaciones de importación de energía a través de las diferentes unidades administrativas que se ocupan de ello. Así, la oficina de adquisición se encarga de la importación desde el medio de las materias primas y otros recursos materiales (papel, máquinas, alimentos para el casino, etc.) que requiere el sistema. Las unidades financieras se encargan de obtener el dinero a través de préstamos o emisiones de valores, y las cajas, de la recepción del producto de las ventas y las acti-

vidades de cobranza. La oficina de selección y contratación es la responsable de la importación de nuevos recursos humanos y los controles, normas y políticas tratan de garantizar la presencia diaria de los recursos humanos que participan habitualmente (o por contrato) en las actividades del sistema.

Nuevamente la importación de informaciones presenta una situación diferente. Si bien es cierto que el sistema puede contar con unidades especializadas en obtener, procesar, analizar y entregar las informaciones del medio (por ejemplo una unidad de estudios de mercado), gran parte de la información que entre al sistema lo hace de manera menos formal, como producto de las decisiones que toman los individuos participantes de comunicar alguna información que a ellos les parece pertinente para el sistema. Tal es el caso, por ejemplo, del informe de un vendedor que vuelve de terreno, de un comprador o de un simple empleado que escucha alguna opinión favorable o adversa para el sistema y que la comunica a sus superiores, dentro del sistema.

En relación con la "importación" de informaciones, se puede observar la necesidad de buscar aquella información "resumida". Si pensamos en términos del principio de variedad de R. Ashby,[4] que dice que un sistema para poder controlar a otro debe ser capaz de equilibrar (o igualar) la variedad recibida[5] con su capacidad de absorber variedad; podemos observar los siguientes fenómenos:

1. Que la variedad del medio, es decir el número de estados que puede alcanzar el sistema, es, prácticamente, infinito, mientras que la posibilidad de captación de variedad del sistema es limitado (y, en general, bastante reducido).
2. De acuerdo con la ley o principio de la variedad requerida, mencionada más arriba, la variedad generada en el medio (y que afecta al sistema) debe ser igual a la capacidad del sistema para absorber esa variedad.
3. Esto es imposible, *a menos que* el sistema posea formas o medios de emplear mecanismos de *reducción* de la variedad del medio. Mediante esa reducción de variedad, el sistema disminuye el número de informaciones del medio y es capaz de tender a igualar la variedad que recibe a través de sus corrientes de entrada, con la capacidad de observación de variedad del sistema. En esta forma podemos decir que el sistema social es capaz de controlar en alguna magnitud el medio que lo rodea.

[4]R. Ashby "Proyecto para un Cerebro". (Madrid, Ed. Tecnos S.A., 1965).
[5]Para los fines de este capítulo, podemos utilizar el término "variedad" (de acuerdo con Ashby) con el de "información".

Un ejemplo concreto es la "impresión" que tiene el medio consumidor del producto de una empresa, por ejemplo, de la fabricación y venta de muebles. Sin duda alguna, su medio consumidor, o mercado, posee diversas opiniones sobre el producto y/o la línea que debería seguir en su producción futura. Desde luego, la empresa no puede conocer la opinión de cada uno de sus reales o potenciales clientes respecto a la línea o estilo de muebles que debería fabricar, pues la variedad del medio es prácticamente infinita. Sin embargo, sus ejecutivos comprenden que es conveniente (y quizás vital para el futuro desenvolvimiento del sistema) conocer esa variedad. Esto es posible recurriendo a un *reductor de variedad*. Este mecanismo puede lograrse a través de un estudio de mercados basado en encuestas. Para estos efectos, se puede considerar el medio (compradores reales y potenciales), como un conglomerado y recurrir a una muestra estadística. La muestra es un reductor de variedad, ya que reduce la información de millares de datos, a decenas, y estos últimos pueden ser perfectamente procesados por la empresa. De esta forma se controla el medio, pues, de acuerdo con el teorema de Ashby, la capacidad de procesar variedad del aparato contralor (la empresa) es igual a la variedad que genera el medio.

En general, podemos indicar que la dependencia del sistema de sus importaciones de energía desde el medio constituye una seria restricción para éste, y no es difícil encontrar sistemas que luchan tenazmente para tener un mayor acceso y/o control sobre las fuentes de energía. Si observamos por ejemplo, un bosque de pinos, podremos comprender la dramática lucha que sostienen por alcanzar los rayos solares, lucha que los lleva a sacrificar su grosor para obtener mayor altura y así evitar ser tapados por los árboles vecinos. El quedar bajo de ellos significa lisa y llanamente su muerte.[6] Luchas parecidas podemos ver en los sistemas industriales por alcanzar y dominar las fuentes de sus principales materias primas, por ejemplo las minas de hierro, en los casos de una empresa siderúrgica. Muchas veces esta lucha termina con la introducción dentro de las fronteras de esas fuentes (integración vertical) y, en otros casos, con la introducción dentro de sus fronteras de los otros sistemas con los cuales compite por aquellos recursos de energía (integración horizontal).

4.2. Proceso de conversión

La pregunta que forzosamente debemos hacernos una vez concluido el punto anterior es: ¿hacia dónde va esa energía? Recordemos que cuan-

[6]Es interesante observar que Darwin, cuando enunció su ley sobre la selección natural lo hizo influido por los escritos de Adam Smith sobre la competencia económica.

do definíamos a los sistemas, hablábamos de la presencia en ellos de un propósito o un objetivo. En efecto, todo sistema realiza alguna función. El hombre debe reproducirse y debe también conducirse de alguna forma de modo de satisfacer sus necesidades; las plantas tienen como misión transformar la energía solar a través de la fotosíntesis. Los sistemas sociales (creados por el hombre) tienen por objeto proveer al hombre de bienes y servicios que lo ayuden en su vida a satisfacer sus necesidades.

Así, la energía que importan los sistemas sirve para mover y hacer actuar sus mecanismos particulares con el fin de alcanzar los objetivos para los cuales fueron diseñados (ya sea por el hombre o la naturaleza). En otras palabras, los sistemas convierten o transforman la energía (en sus diferentes formas) que importan en otro tipo de energía, que representa la "producción" característica del sistema particular. Por ejemplo, en el caso de las plantas, ellas "importan" energía solar y mediante un proceso de conversión (fotosíntesis) transforman la energía solar en oxígeno. La empresa siderúrgica transforma la energía que recibe, ya sea de materias primas, recursos financieros y humanos e información, en planchas y barras de acero, a través de todo un proceso de conversión que va desde el alto horno hasta las laminadoras en frío o en caliente.

En general, en el caso de una empresa productora de bienes y/o servicios, podemos señalar que los procesos de conversión de energía se llevan a cabo en aquellas unidades encargadas directamente de la elaboración del producto que caracteriza a ese sistema social. (El taller de dibujo, en el caso de una empresa de arquitectura; los talleres de carpintería en una fábrica de muebles; los trabajos de perforación y extracción de mineral en el caso de una mina; etcétera).

Hemos señalado anteriormente que todo sistema puede ser dividido en subsistemas y que éstos a su vez poseen las mismas características de un sistema (el principio de recursividad). Por lo tanto, cada uno de los subsistemas posee un proceso de conversión mediante ese subsistema. Así por ejemplo, el ser humano se encuentra formado por varios subsistemas cada uno con una función de conversión característica: el sistema circulatorio, produce y hace circular la sangre dentro del cuerpo para así alimentar diversos organismos; el aparato digestivo transforma la energía, que en forma de alimento entra en el cuerpo, en otras formas de energías aptas para el consumo de otros subsistemas; el aparato nervioso produce el movimiento, que permite accionar al cuerpo y, entre otras cosas, buscar su alimento.

Desde este punto de vista, y al considerar el sistema total, existen diferentes procesos o funciones de conversión siendo algunas principales, en relación al producto final y otras accesorias o de "servicio" para que puedan operar esos subsistemas principales (aunque no por eso menos importantes y, en algunos casos, vitales). Así, en el caso de la siderúrgica, si bien es cierto, como señalábamos más arriba, que su función de transformación central es el complejo que comienza en el alto horno, pasa por la acería y termina en las laminadoras, no es menos cierto que las funciones de conversión de los otros subsistemas (las funciones de entrenamiento del personal; las funciones de transportes del producto semielaborado de una unidad de conversión a otra) son importantes para el logro del objetivo final. La diferencia quizá resida en que mientras las unidades de conversión del producto característico transforman la energía recibida en el producto final, los otros subsistemas la transforman en otro tipo de energía que es, a su vez, una corriente de entrada para la función de transformación principal, es decir, son procesos intermediarios.

La figura 4.2 esquematiza nuestra discusión sobre los procesos de conversión y es también una ampliación de la figura 4.1.

4.3. Corriente de salida

La corriente de salida equivale a la "exportación" que el sistema hace al medio. Este es el caso del oxígeno en las plantas; de las planchas de acero, en la empresa siderúrgica; del transporte en un taxi; etcétera.

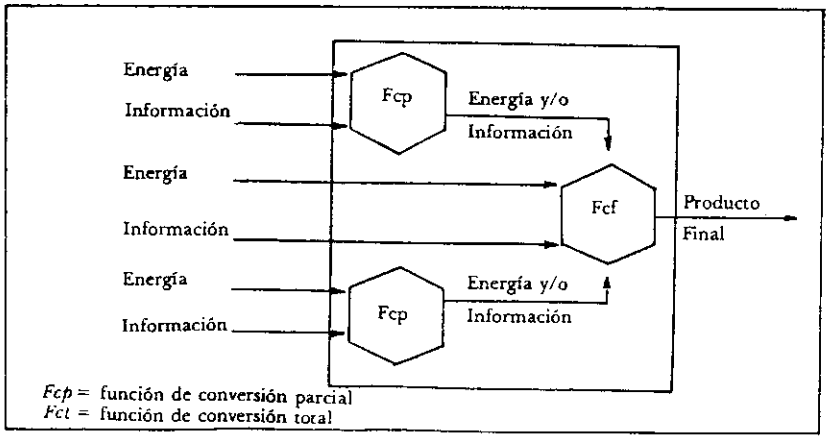

Figura 4.2

Generalmente no existe una sino varias corrientes de salida. Por ejemplo, hemos señalado que la corriente de salida, o el producto que exporta una planta al medio, es el oxígeno que ella fabrica a partir de la energía solar. Sin embargo, ésta es *una* de sus corrientes de salida (aunque quizás la principal) ya que también exporta alimentos, frutos y belleza a través de sus flores.

En general podemos dividir estas corrientes de salida como positivas y negativas para el medio y entorno, entendiéndose aquí por medio todos aquellos otros sistemas (o supersistemas) que utilizan de una forma u otra la energía que exporta ese sistema.[7]

En el caso de la planta podríamos señalar que sus corrientes de salida son todas positivas. Sin embargo pueden existir corrientes de salida negativas (aunque indudablemente los conceptos de positivo y negativo son relativos, ya que se encuentran en función de la escala de valores del observador o analista). Una planta, como la amapola, aparte de producir oxígeno y belleza, produce el opio que por sus efectos en el hombre podría ser considerada una corriente de salida negativa (aunque no para aquellos que comercian con él) para la comunidad en general (excepto cuando es utilizado como medicamento). En general, podríamos decir que la corriente de salida es positiva cuando es "útil" a la comunidad y negativa en el caso contrario.

En el caso de la siderúrgica, además de las planchas de acero, puede exportar corrientes de salida negativas. El humo y escoria que contaminan el aire y dañan seriamente la ecología de la región. Lo mismo puede ser aplicado al taxi.

En general, y dados, por supuesto, una escala de valores particulares de una comunidad, la relación que existe entre la corriente de salida positiva y la negativa determinará en última instancia la supervivencia misma del sistema. Cuando en un sistema particular, de acuerdo con los valores de un individuo o de una comunidad, la corriente de salida positiva es muy superior a la corriente de salida negativa, es probable que ese sistema cuente con la "legalización" de su existencia por parte del individuo y de la sociedad, en general, (lo que no impide las presiones para reducir, minamizar o eliminar las corrientes de salida negativas). Tal es el caso, por ejemplo, de la planta siderúrgica que hemos hecho mención en forma repetitiva. Los efectos ecológicos y de contaminación de la atmósfera pueden ser considerados como un costo que debe pagar la comunidad para poder disponer de las planchas de acero y lo que ellas significan (automóviles, lavadoras, herramientas, etcétera.).[8]

[7]O expresado en términos generales, todos aquellos sistemas cuya conducta se ve afectada por cambios en el comportamiento del sistema particular. Si pensamos en términos de matemáticas booleanas el medio es todo aquello que no pertenece al conjunto o sistema.

Por otra parte, es posible que se elimine toda una plantación de amapolas junto con las instalaciones de conversión que forman un sistema cuya corriente de salida sea opio, ya que los efectos sobre la comunidad pueden ser desastrosos y no compensar en ningún caso la existencia de tal sistema.

Esta "legalización" del sistema, o mejor dicho de su corriente de salida, es vital, entonces, para la misma existencia del sistema. Dada la gran dependencia que tiene del medio (especialmente los sistemas sociales) la actividad positiva o negativa de ese medio hacia el sistema será el factor más importante para determinar la continuación de su existencia o su desaparición.

Podemos entonces hablar de "*sistema viable*" como aquel que sobrevive, es decir, que es legalizado por el medio y se adapta a él y a sus exigencias, de modo que con su exportación de corrientes positivas de salida al medio, esté en condiciones de adquirir en ese mismo medio sus corrientes de entrada (o la energía necesaria para el continuo desarrollo de su función de transformación).

El concepto de legalización es una idea amplia. Nuestra primera reacción es pensar en un sistema social legalizador por la comunidad (la planta de acero, el taxi, la familia, etc.). Sin embargo, también podemos hablar de un sistema legalizado cuando observamos un árbol en un oasis. En efecto, el medio ha permitido la existencia de esa palmera en un entorno que aparentemente la rechaza. Lo mismo podemos pensar en la existencia "legalizada"de los insectos y otros ejemplares de la fauna de un determinado territorio. El medio, al crear o poseer las características necesarias para la vida de aquellos sistemas vivos, les permite la vida.

Sin embargo, el concepto de viabilidad es más amplio. Stafford Beer define a un sistema viable como aquel que es capaz de adaptarse a las variaciones de un medio en cambio. Para que esto pueda ocurrir, el sis-

[8]Se presta hoy día profunda atención a este problema. En efecto, en el corto plazo, la utilidad de la siderúrgica puede ser considerablemente mayor que el costo producido (por ejemplo, contaminación de la atmósfera o la eliminación de la vida marina como producto de los desechos arrojados en el mar). Sin embargo, en el largo plazo la situación puede ser justamente la inversa al transformar el paisaje y hacer el lugar inhabitable.

tema debe poseer tres características básicas: a) ser capaz de autoorganizarse, es decir, mantener una estructura permanente y modificarla de acuerdo a las exigencias; b) ser capaz de autocontrolarse, es decir, mantener sus principales variables dentro de ciertos límites que forman un área de normalidad y finalmente c) poseer un cierto grado de autonomía; es decir, poseer un suficiente nivel de libertad determinado por sus recursos para mantener esas variables dentro de su área de normalidad.

Existen algunos sistemas sociales que llevan a cabo las transacciones con su medio (es decir, exportaciones de sus corrientes de salida y adquisición de sus corrientes de entrada) en forma completamente autónoma. Tomemos como ejemplo nuestro taxi.

La corriente de salida principal (el servicio de transportes), lo transforma en dinero y con ese dinero adquiere todas las corrientes de entrada que requiere el sistema para seguir subsistiendo (gasolina, aceite, revisiones y repuestos para el auto y pan, techo y abrigo para chofer).

En cambio, existen otros sistemas cuyo producto de la "comercialización" de su corriente de salida no alcanza o, simplemente, es incapaz de producir alguna parte considerable de sus corrientes de entrada. Por ejemplo, nuestro jardín. Su corriente de salida es la belleza y el bienestar que nos proporciona.

Pero esas corrientes de salida no son "comerciales" para el jardín, con ellas no puede adquirir ciertas corrientes de entrada que podría requerir como riego, en algunas épocas del año, desmalezamiento y otros cuidados (aunque, por supuesto, como es un sistema abierto,) está en condiciones de adquirir sus corrientes de entrada principales: los rayos solares y, aunque quizá con alguna dificultad en épocas del año, el agua necesaria para subsistir. De otra forma sería un sistema cerrado (de acuerdo con nuestras definiciones). En este caso podemos pensar que el medio (los que usufructúan del jardín) "pagan" la belleza y el bienestar que les proporciona, bajo la forma de entregarle aquellas corrientes de entrada que o son escasas o difíciles de conseguir por el mismo sistema o que, simplemente, el sistema es incapaz de alcanzar (por ejemplo, el agua si el jardín está en una zona desértica: un jardín en Chuquicamata).

Lo mismo sucede con ciertos sistemas sociales útiles para la comunidad. Por ejemplo, un hospital público. Evidentemente, lo que los pacientes pagan por los cuidados recibidos es insuficiente para proveer a ese hospital con todos los recursos necesarios (equipos, medicamentos, cirujanos, doctores, enfermeras, etc.). Es entonces el medio, la comu-

nidad, el que, a través de los impuestos que entrega al gobierno, permite a éste subvencionar el hospital, porque su corriente de salida, salud, es importante para esa comunidad (utilidad social y costo social).

Algunos autores han denominado "ciclo de actividad"[9] a esta relación entre corriente de salida y corriente de entrada. (Es decir, al proceso mediante el cual la corriente de salida regenera la corriente de entrada del sistema.)

La figura 4.1 representa a la corriente de salida y al ciclo de actividad, y al integrarse con las figuras 4.1 y 4.2 representa todo el proceso de acción de un sistema abierto.

4.4. La comunicación de retroalimentación

Recordemos nuevamente, que todo sistema tiene algún propósito y la conducta que desarrolla, una vez que dispone de la energía suficiente,

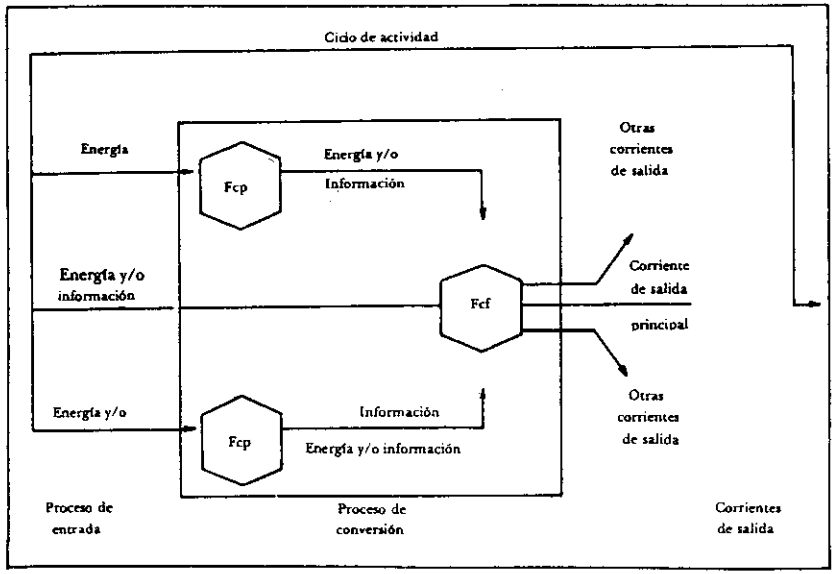

Figura 4.3

[9]Ver el capítulo dos de la obra de Katz y Kahn citada anteriormente. Estos autores consideran al ciclo de actividad como una característica de un sistema abierto. Eso significa que cuando ella no existe (como es el caso de la conversión de energía para producir una corriente de salida particular y *por una vez* no existiría sistema (al menos abierto).

prevista por sus corrientes de entrada, tiende a alcanzar ese propósito u objetivo. La pregunta que tenemos en mente es ¿cómo sabe el sistema cuándo ha alcanzado su objetivo? o ¿cuándo existe diferencia entre la conducta que desarrolla para lograr el objetivo y el objetivo mismo?

¿Cómo sé yo que estoy escribiendo aquello que me he propuesto (un objetivo)? Simplemente por la lectura de lo escrito a medida que lo escribo. Esta lectura la comparo con mis ideas y por esta comparación comprendo si efectivamente estoy diciendo lo que quiero decir o estoy diciendo otra cosa. En este caso, la corriente de salida son los párrafos que voy escribiendo. A través de la vista observo estos resultados los que, en forma casi automática son comunicados a mi cerebro, de donde sale la orden de seguir adelante o borrar y corregir ciertas líneas. A esa información que llega a través de mi vista y que muestra el resultado que se está obteniendo con la acción que estoy desarrollando y que llega al cerebro para ser allí interpretada es lo que se denomina "*comunicación de retroalimentación*" o, utilizando la palabra en inglés "*feedback*".

Así, la comunicación de retroalimentación es la información que indica cómo lo está haciendo el sistema en la búsqueda de su objetivo, y que es introducido nuevamente al sistema con el fin de que se lleven a cabo las correcciones necesarias para lograr su objetivo (retroalimentación). Desde este punto de vista, es un mecanismo de *control* que posee el sistema para asegurar el logro de su meta.[10]

Un ejemplo más característico y que muestra en forma práctica el proceso de la información de retroalimentación lo plantea Parsegian[11] a través de un ejercicio. Las características fundamentales de la comunicación de retroalimentación se observan muy bien a través del simple proceso de caminar a través de un pasillo estrecho. Sin embargo, normalmente este acto es tan automático que las funciones y conductas esenciales asociadas en esta caminata pasan desapercibidas.

Pero si nos vendamos los ojos durante esta caminata simulando el caminar de una persona ciega, entonces los detalles del proceso aparecen en forma muy clara. Al hacerlo así, lo primero que pensamos es que existe un motivo, o un propósito para esa acción. Una vez decidida la

[10]En el capítulo 7, "Subsistemas de Control" se amplían los conceptos de retroalimentación.
[11]V. L. Parsegian, "*This Cybernetic World of Men, Machines and Earth Systems*", (N. York, Anchor Books, 1973), pp. 55.

caminata, un proceso mental hace entrar en juego a los músculos o actividades motores y a los recursos energéticos del cuerpo para la ejecución de la tarea propuesta. Debido a que deseamos caminar a través del corredor sin chocar contra las paredes, nuestra posición durante la caminata en relación con las paredes será nuestra corriente de salida. Como nuestros ojos se encuentran vendados debemos introducir otro *sensor* (o subsistema de información) cuya función es recibir la información del resultado de nuestro esfuerzo en relación a nuestros propósitos (o comunicación de retroalimentación). Esto se puede lograr a través del uso de un bastón que movemos de un lado hacia el otro en el espacio ante nosotros (como lo hacen los ciegos). Entonces comenzamos a caminar cuidadosamente a través del correder. Cuando el bastón choca, digamos con la pared izquierda, inmediatamente surge una señal en la forma de ruido que es captada por nuestros oídos y por el tacto del bastón en la mano. El cerebro interpreta la señal como una comunicación de retroalimentación e inicia una acción correctiva a través de un movimiento hacia la derecha, dirección en la cual seguimos hasta que el bastón toque nuevamente, ahora en la pared derecha y emita las señales necesarias para iniciar una nueva acción correctiva esta vez con movimiento hacia la izquierda. Finalmente completamos el recorrido pero sólo después de una serie de movimientos cíclicos de una pared hacia la otra.

Este ejemplo ilustra, a nuestro juicio excelentemente, la forma en que se origina la comunicación de retroalimentación y la manera en que los centros decisionales del sistema (en este caso el cerebro) la utilizan para corregir el rumbo de la acción y lograr el objetivo propuesto.

Esquemáticamente, la figura 4.4 nos muestra este proceso.

Se puede observar en la figura 4.4 que la comunicación de retroalimentación pasa directamente del sensor o detectador (el bastón) a modificar las instrucciones del cerebro (una de las corrientes de entrada). Esto lo hemos presentado así en aras de la simplicidad. En efecto, hemos dejado fuera del sistema al cerebro, ya que lo representamos como una corriente de entrada externa al sistema.

Si queremos representar en forma más completa el proceso de retroalimentación debemos agregar una función de conversión que recibe la información de retroalimentación como corriente de entrada que la transforme o convierta en nueva información, la que es transmitida al proceso de conversión principal que está actuando para alcanzar el objetivo del sistema. Evidentemente esa función de conversión es la que, en nuestro ejemplo, se realiza en el cerebro al recibir éste la comunica-

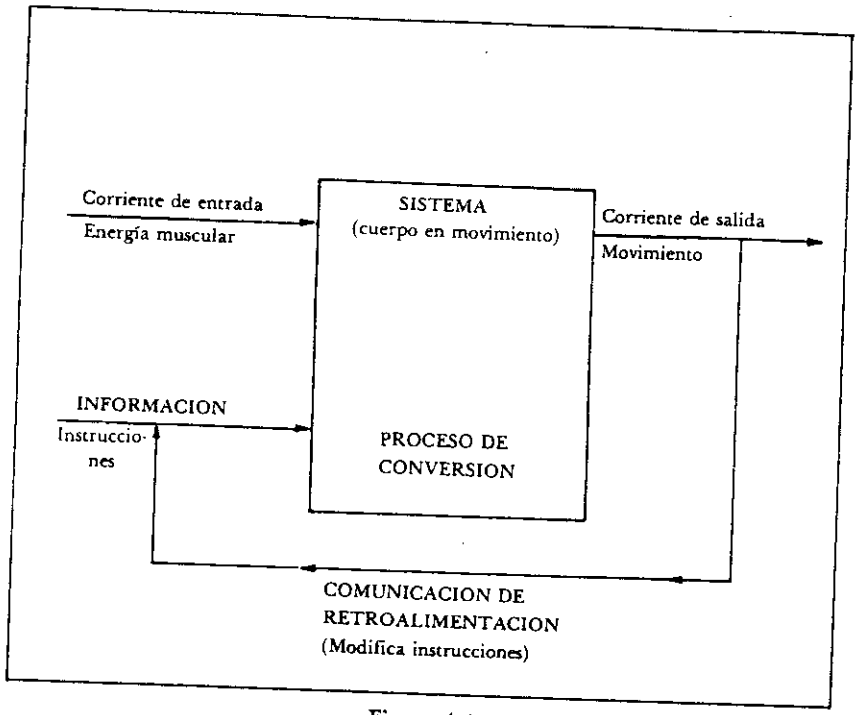

Figura 4.4

ción de retroalimentación y emitir las instrucciones correctoras a los músculos, o sistema motor del sistema, para modificar el rumbo de la caminata.

Finalmente y siguiendo el mismo criterio que hemos desarrollado en los puntos anteriores, al analizar las diferentes características de los sistemas, presentamos la figura 4.5 en la que se detalla con mayor precisión el proceso de la comunicación de retroalimentación y se integran las figuras 4.1, 4.2, 4.3.

Nótese que la comunicación de retroalimentación no sólo puede provenir de la corriente de salida del sistema, sino de cualquier otra corriente de salida que se estime necesario controlar. Así por ejemplo, en el caso de la empresa siderúrgica, es posible que además de la información de retroalimentación relacionada con la producción y comercialización de las planchas de acero (corriente de salida principal) se desee también mantener el grado de contaminación atmosférica y producción de residuos (corrientes de salida secundarias o negativas) dentro de límites o niveles dados.

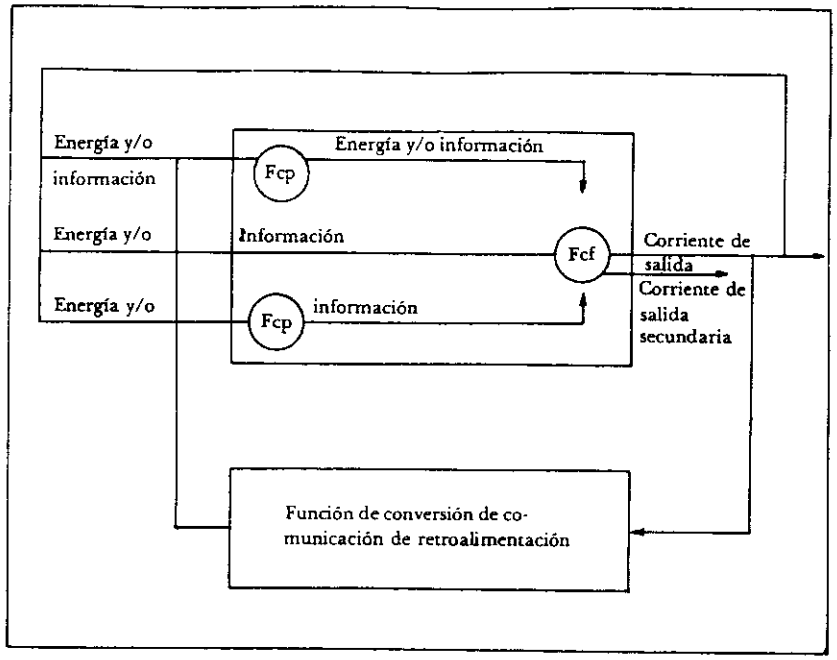

Figura 4.5

En otros casos la función de conversión de la comunicación de retroalimentación significará informaciones que de alguna forma modifican las corrientes de entrada que importa el sistema. Concretamente, en el caso de nuestro ejemplo, esta función de conversión puede encontrarse en la Gerencia General de Operaciones de dicha empresa.

Nuestro análisis de la comunicación de retroalimentación no concluye aquí. Al contrario, aquí sólo la presentamos. En un próximo capítulo volveremos sobre ella en mayor profundidad.

4.5. El enfoque corriente de entrada y salida[12]

El enfoque "corriente de entrada-corriente de salida" (input-output), aplicado a la teoría de sistemas, identifica a un sistema como una entidad reconocible a la cual llegan diferentes corrientes de entrada (con numerosos tipos de recursos) y de la cual salen una o varias corrientes de salida bajo la forma de algún producto (bienes o servicios). Desde

[12]Este enfoque también es conocido como el enfoque de flujos, en el que tanto la corriente de entrada como la de salida son flujos dinámicos.

este punto de vista, el sistema propiamente tal se considera como una "caja negra", considerándose sólo las interacciones (llegadas o salidas).

Consideremos, por ejemplo, el sistema educacional de un país. El cuerpo ejecutivo a través del presupuesto nacional le entrega una corriente de entrada de dinero; de este sistema salen estudiantes con diferentes grados y títulos, secundarios, universitarios y postgraduados. En este proceso la corriente de entrada es transformada en edificios, profesores, personal administrativo, libros, etc. Esta corriente de entrada así transformada procesa a personas denominadas estudiantes que salen del sistema con diferentes grados de educación y entrenamiento. Cuando observamos al sistema educacional desde este punto de vista, es interesante destacar que algunos de los componentes del sistema (por ejemplo, los profesores) son a la vez un producto del sistema y también llegan a formar parte del equipo del mismo. Es decir, el sistema crea parte de su propio potencial.

El enfoque de "corriente de entrada-corriente de salida" es una excelente forma de ver a un sistema social industrial. Como "corriente de entrada" de la empresa puede considerarse la inversión inicial de fondos y de esas inversiones (plantas y equipos) se produce una corriente de salida compuesta por varias clases de productos que son distribuidos entre los consumidores, como también dividendos que retornan a los inversionistas (sean éstos privados o públicos).

Podemos pensar en el sistema y en los subsistemas como una "caja negra" como indicábamos más arriba.

En este caso, sólo nos limitamos a preguntar cuáles son las corrientes de entrada y qué corrientes de salida produce. No nos preocupemos por lo que sucede dentro del sistema, es decir, por la forma en que operan los mecanismos y procesos internos del sistema y mediante los cuales se producen esas corrientes de salida, a menos que en un momento dado nos interese alguna de ellas. En ese caso procedemos a abrir la caja.

Este enfoque produce la ventaja de identificar claramente los sistemas y los subsistemas y estudiar las relaciones que existen entre ellos, permitiendo así maximizar la eficiencia de estas relaciones sin tener que introducirnos en los procesos complejos que se encuentran encerrados en esas cajas negras. Evidentemente, cuando algún subsistema presenta problemas, es decir, cuando las relaciones entre las corrientes de entrada y las de salida presentan anomalías, entonces, y sólo entonces nos vemos obligados a destapar la caja negra y estudiar ese subsistema en forma más precisa.

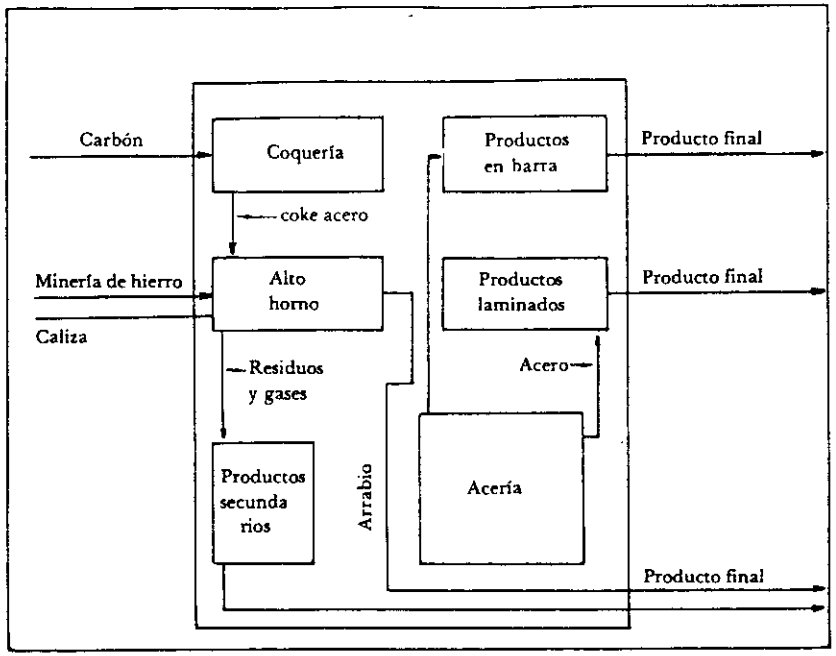

Figura 4.6

Otra ventaja de este enfoque, especialmente en los sistemas empresas industriales, es que permite indentificar en forma bastante simple la existencia de los "cuellos de botellas", es decir, subsistemas que limitan la acción del sistema para alcanzar sus objetivos. También permite descubrir aquellos subsistemas que son críticos.

La figura 4.6 presenta un diagrama de flujos simplificado como resultado de la aplicación del enfoque corriente de entrada-corriente de salida a una empresa siderúrgica.

CAPITULO 5

*Entropía y neguentropía**

Cada acto que realizamos en el curso del día implica fuerza y energía. Si empujamos una puerta, si encendemos un cigarrillo, si corremos para alcanzar una micro, estamos ejecutando un trabajo; son actividades que requieren movimientos de los músculos del cuerpo. En cada una de estas actividades existe un consumo de energía. Cuando empujamos un auto, estamos realizando un trabajo y, por lo tanto, consumiendo energía. Este gasto de energía lo podemos observar por el cansancio que se apodera de nuestros músculos.

En general, todo sistema diseñado para alcanzar un objetivo (y por lo tanto, realizar un trabajo) requiere de energía que recibe a través de la corriente de entrada y en las formas más diversas (alimentos, vapor, electricidad, materias primas u otras fuentes). Esta energía dentro del sistema puede convertirse en energía cinética o potencial. La primera, se encuentra relacionada con la velocidad de un cuerpo, aunque algo de ella se pierde por la fricción de éste con el medio. En general, podemos señalar que el trabajo que realizamos a "nivel de suelo" (caminar, empujar un cuerpo, transportar un objeto, etc.) se transforma en energía cinética y en pérdida por fricción.

La energía potencial se encuentra relacionada con la masa del cuerpo y los cambios de altura. Esta es la energía contenida en una cascada, la que se manifiesta cuando levantamos algún objeto, cuando subimos un cerro, etc.

*Este capítulo ha sido elaborado sobre la base de un artículo inédito titulado "Entropía, Organización e Información".

Normalmente, al realizar un trabajo, el sistema desarrolla ambas formas de energía. Por ejemplo, si empujamos un objeto sobre un plano inclinado, la presión que realizamos (mayor o menor, según sea nuestro movimiento hacia arriba o hacia abajo) se divide parte en energía cinética (el movimiento de translación) y parte de energía potencial (el movimiento de levación), y por supuesto, pérdidas fricciona-les por el roce del cuerpo con la superficie.

5.1 Las leyes de la termodinámica

Entre los principios más importantes que describen los procesos físicos se encuentran las leyes de la termodinámica. Ellas se encuentran relacionadas con los intercambios de energía y con la tendencia de sus flujos, especialmente de la energía calórica.

Como señalábamos en el punto anterior, todo proceso natural o humano, implica utilización o transformación de energía, y por esta razón, los principios o leyes de la termodinámica se aplican tanto al acto de admirar una hermosa escultura, llevar a cabo una investigación, manejar una máquina u observar y analizar el universo.

Cuando dos cuerpos que poseen la misma temperatura son colocados uno al lado de otro, sus temperaturas permanecen constantes. Esta es la llamada ley "cero" de la termodinámica. Entre uno y otro cuerpo no existe un flujo neto de energía calórica. Ambos cuerpos se encuentran en un equilbrio estadístico. Esto lo podemos apreciar experimentalmente. Si tenemos una taza de café a medias, a una temperatura de 50° y llenamos la taza con una cafetera que está a la misma temperatura, la temperatura del café en la taza ahora llena, será de 50°.

La ley "cero", nos asegura que cuando aplicamos una corriente de aire a un cubo de hielo, si la temperatura de la corriente del aire es igual a la del cubo de hielo, éste mantendrá su temperatura. Esto nos conduce a la primera ley de la termodinámica que dice que en un sistema cerrado la energía es conservada. No se gana ni se pierde. Por ejemplo, si agregamos calor al cubo de hielo para convertirlo en vapor, el calor agregado es igual al incremento de la energía interna de las moléculas de aire y agua (vapor) más el trabajo realizado por el vapor al expandirse.

¿Qué sucede cuando los dos objetos no poseen la misma temperatura? La respuesta a este problema la encontramos en la segunda ley de la termodinámica, que dice que existirá un flujo neto de energía y siempre desde el cuerpo más caliente al más frío. Si dejamos nuestra

taza de café con su temperatura de 50° algún rato sobre la mesa, observaremos cuando lo tomemos, que se ha enfriado. La taza de café perdió temperatura debido a su exposición a un medio más frío. El café, jamás, por sí mismo, podrá calentarse, llegando a superar la temperatura de su medio.

Una mejor forma de expresar esta segunda ley de la termodinámica, utiliza consideraciones probabilísticas. Se basa en la observación de que cuando ciertos estados del sistema son más probables que otros, el sistema siempre se moverá en la dirección del estado más probable. Por ejemplo, no existe una probabilidad que el café logre mantener su temperatura igual a la del medio ambiente por mucho tiempo; al revés, es muy probable que el café caliente pierda temperatura y alcance una temperatura que se aproxime a la del medio ambiente. Así, la segunda ley de la termodinámica señala qué es lo que será más probable que ocurra: el café se enfriará, tendiendo a alcanzar la temperatura del medio ambiente.

Existe una consecuencia de esta ley, aún más importante. Siguiendo con nuestra taza de café, si observáramos con los instrumentos apropiados, notaríamos que cuando el café estaba caliente, las moléculas de agua chocaban violentamente, como lo hacen las moléculas de aire en el cuarto, de una manera caótica. Sin embargo, a pesar de este caos o movimiento al azar, existe un flujo neto de energía desde el café hacia el aire. Ya sea frío o caliente, la energía total contenida en la taza y en la pieza permanece constante (de acuerdo con la primera ley de la termodinámica). Es decir, podemos suponer que toda la energía calórica permanece en el cuarto.

Sin embargo, cuando el café se enfría, cesa de existir ese flujo neto de energía (aun cuando las moléculas del café y del aire siempre se encuentran en movimientos rápidos y chocando entre sí). En realidad, podemos señalar que los movimientos individuales y la energía cinética no se han reducido mucho comparados con la energía que las moléculas tenían cuando el café estaba caliente. Sin embargo, ahora podemos decir que el sistema ante la falta de un flujo neto de energía está en una situación aún más caótica y al azar. Del estado "ordenado" en el cual el café caliente es una situación organizada, con un "propósito", con la energía calórica concentrada en una parte y fluyendo hacia afuera, el sistema ahora es reducido a una condición de equilibrio con un desorden molecular mayor (o con una reducción de su ordenamiento).

El cambio de estados más ordenados u organizados a estados menos ordenados y organizados, es una cantidad definida y medible, denomina-

da "*entropía*". Es el factor que explica el hecho de que mientras la energía total contenida en un sistema cerrado permanece constante, con el incremento de la entropía, esa energía puede ser utilizada cada vez menos.

5.2 Entropía

¿Qué es la entropía? De acuerdo con lo que indicábamos más arriba, ella no es un concepto o una idea simbólica, sino una cantidad física mensurable tal como el largo de una cuerda, la temperatura de cualquier punto del cuerpo, el valor de la presión de un determinado cristal o el calor específico de una sustancia dada. En el punto de la temperatura conocida como cero absoluto (aproximadamente -273°C) la entropía de cualquiera sustancia es cero. Cuando llevamos esa sustancia a cualquier otro estado mediante pasos lentos y reversibles (aunque la sustancia cambie a una naturaleza física o química diferente) la entropía aumenta en una cantidad que se calcula dividiendo cada pequeña porción de calor que debemos agregar en ese proceso, por la temperatura absoluta en la cual lo agregamos y sumando todas estas pequeñas contribuciones.

Por ejemplo, cuando se funde un sólido, su entropía aumenta en la cantidad de calor de la fusión dividida por la temperatura en el punto de fusión. Por lo tanto, la unidad en que se mide la entropía es calorías/C° (tempertura).

Recordemos que, de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, la entropía de un sistema aislado es siempre creciente. Así, podemos afirmar que la entropía del universo es siempre creciente. En efecto, si se considera al universo como un sistema aislado (o cerrado), inevitablemente, de acuerdo con la termodinámica, irá pasando de estados más organizados hacia estados menos organizados, hasta llegar a un caos final. Evidentemente, esta conclusión no encierra grandes esperanzas en cuanto a la supervivencia del hombre, de la tierra y del universo. Sin embargo, Brillouin[1] señala que, en su opinión, estas afirmaciones están mucho más allá de los límites del conocimiento humano: Se pregunta ¿El universo se encuentra limitado o es infinito? ¿Cuáles son las propiedades de sus limitaciones? ¿Existe un escape o una entrada de entropía y energía? Ninguna de estas preguntas puede ser contestada. Sabemos que el universo se está expandiendo, aunque entendamos

[1]L. Brillouin, "Life, Thermodinamics and Cybernetics", en *American Scientist* 37, (octubre, 1949), 554-68.

muy poco de cómo y por qué. Expansión significa el movimiento de fronteras y esto significa que ni la energía ni la entropía pueden permanecer constantes en su interior. De ahí que es mejor no hablar de "entropía del universo". Las leyes físicas sólo pueden ser aplicadas dentro de ciertos límites y para ciertos órdenes de magnitud. Todo el universo es demasiado grande para la termodinámica y ciertamente excede considerablemente las órdenes de magnitud razonables para los cuales sus principios pueden ser aplicados. Lo único que podemos discutir razonablemente, señala Brillouin, es la conducta de la entropía en un sistema cerrado. En vez del misterioso universo, mejor hablemos de nuestro planeta Tierra.

La Tierra no es un sistema cerrado. En efecto, para que así lo fuera, de acuerdo con nuestra definición en un capítulo anterior, la Tierra debería ser un sistema aislado, que no intercambiara energía con su medio. De hecho esto no es así. La Tierra se encuentra constantemente recibiendo energía desde el exterior (energía radiante desde el sol, energía gravitacional desde el sol y de la luna provocando las mareas, radiaciones cósmicas de orígenes desconocidos, etc.). También existe una salida de energía, ya que la Tierra también irradia energía. ¿Cuál es el resultado neto? ¿Positivo o negativo? Esta es una pregunta que, de acuerdo al conocimiento actual, parece imposible que sea contestada.

Hasta aquí, podemos extraer una conclusión. La entropía ejerce su acción en los sistemas aislados, es decir, aquellos que no "comercian" con su medio. Luego podemos afirmar concretamente que estos sistemas se encuentran condenados al caos y a la destrucción. Los objetos físicos tienden a ser sistemas cerrados, y éstos, evidentemente, tienen una vida limitada. El paso del tiempo en la arquitectura de épocas antiguas lo señala. Las pirámides de Egipto, mejor aún, la Esfinge, muestran los efectos de la entropía. Sin duda alguna, el estado más probable de los elementos que conforman la Esfinge no es la organización especial que esos elementos asumen en la construcción del monumento. El estado más probable de la arcilla y de la roca es la distribución estocástica en la naturaleza de la primera y la desintegración en partículas y arena en el caso de la segunda. Basta observar el caso en una fotografía del estado actual de la Esfinge y compararla con las ilustraciones que la representan en su estado inicial para comprender los efectos de la entropía.

Como señalaba cierto autor, para observar la entropía basta observar el estado en que uno encuentra su casa, después que la ha dejado ordenada y limpia dos meses atrás, antes de realizar un viaje. Aunque el hombre no ha intervenido, ya no se encuentra tan ordenada y limpia.

Todo esto es válido para los sistemas cerrados, ¿pero qué pasa con los sistemas abiertos o los sistemas vivos?

Cuando un sistema no vivo es aislado y colocado en un medio uniforme, todo movimiento muy pronto llega hasta un punto muerto, como resultado de la fricción. Las diferencias de potenciales químicos se equilibran, la temperatura se hace uniforme. Después de esto, todo el sistema cae en agonía y muere, transformándose en una materia inerte. Se alcanza un estado permanente en que no ocurre ningún suceso observable; los físicos llaman a esto: estado de equilibrio termodinámico o de máxima entropía.

¿Cómo logra un organismo viviente evitar ese decaimiento que observábamos en los sistemas cerrados? La respuesta evidente es: comiendo, bebiendo, respirando y (en el caso de las plantas) asimilando. El término preciso de *metabolismo*. La palabra griega significa cambio o intercambio. ¿Cambio de qué? Originalmente la idea es, sin duda, el cambio de materias.

Schrodinger,[2] señala que este cambio de materias no es lo principal. Señala que cualquier átomo de nitrógeno, oxígeno, azufre, etc. es tan bueno como otro de su clase; ¿qué se podría ganar al cambiarlo? En el pasado nuestra curiosidad fue silenciada al decirnos que nos alimentábamos de energía. Tomando literalmente esto es otro absurdo, dice Schrodinger. En un organismo adulto, el contenido de energía es estacionario.

5.3 La entropía y los sistemas abiertos

Hemos señalado que una característica común a todos los sistemas es la entropía. En los sistemas sociales, ésta tiene ciertos efectos que creemos, vale la pena discutir con algún detalle, especialmente por la relación que tienen con los problemas de la organización, de la información y de la comunicación.

Recapitulando lo dicho más arriba, podemos señalar que la entropía, o la ley de la entropía, es un concepto que proviene de la física y es una conclusión a que se llega a partir de la segunda ley de la termodinámica. Según esta ley, los sistemas en general tienen la tendencia a alcanzar su estado más probable. En otras palabras, existe una tendencia natural de los cuerpos a pasar de distribuciones menos probables a

[2]Schrodinger, "*Waht is Life*" (Cambridge; Cambridge University. Press).

otras más probables. Ahora bien, en el mundo de la física, el estado más probable de esos sistemas es el caos, el desorden y la desorganización.

Arturo Aldunate Phillips[3] plantea, de paso, un ejemplo sobre la acción de la entropía que nosotros ampliaremos por razones que se verán más adelante.

Si se examina un campo de tierra gredosa, apropiada para la fabricación de ladrillos, el estado en que se encuentra distribuida esta tierra, será de desorden (su estado más probable). Si de esa tierra gredosa se desea fabricar ladrillos, es necesario organizarla, agruparla en ciertos trozos con una figura y dimensiones especiales. En este sentido se puede decir que se ha "organizado" el conjunto de granos de tierra. Este desde luego es un estado de distribución menos probable (ya que no es fácil imaginar ladrillos formados al azar). Cuando se colocan los ladrillos en un muro de un edificio en construcción, estamos en una segunda etapa o fase de organización, llevando los granos de arcilla a una distribución aún mucho menos probable.

Por lo tanto, el edificio en relación con la arcilla utilizada en la fabricación de ladrillos, representa un estado mucho más organizado y una distribución mucho menos probable que los granos de arcilla.

Siguiendo con este ejemplo, si observamos la acción del tiempo sobre el edificio, especialmente sobre sus muros, podemos ver en sus ladrillos una tendencia a la desintegración, a la pérdida de organización, es decir, a volver a transformarse en polvo o arcilla, a llegar a su estado más probable, que es el estado natural. Este efecto de desintegración es el efecto de la entropía.

Con un poco de imaginación, podemos adaptar perfectamente el ejemplo de Aldunate Phillips a un sistema social. Los sistemas sociales están compuestos por personas que cumplen un papel definido. La muchedumbre o la gente que observa un partido de fútbol en el Estadio Nacional desde el punto de vista de distribución, podría suponerse como ordenadas de acuerdo a su distribución más probable. Desempeñan funciones de observadores, que son mas bien uniformes y, en ese sentido, simétricos.[4] En términos de sistemas, podríamos decir que for-

[3]A. Aldunate Phillips, "*Los Robots no Tienen a Dios en el Corazón*", Santiago. Ed. Andrés Bello, 1965), p. 217.

[4]La simetría o igualdad en este sentido no debe entenderse como orden, sino todo lo contrario, como caos. Lo que hace andar al mundo son los estados asimétricos, en que existen *diferencias*. En general, la idea de diferencia es la que produce la acción y la dinámica. Cuando esa diferencia se ha equilibrado (cuando se ha utilizado el potencial) ya no se puede efectuar más actividad.

man un sistema bastante elemental tal como sería un saco de tierra gredosa.

Ahora bien, esta muchedumbre puede reunirse y proceder a organizarse, por ejemplo, para preparar un programa de los próximos partidos, o nombrar ciertos cargos (o funciones diferenciales) con asignación de autoridad.

Los observadores del partido de fútbol deciden ordenarse y formar una "barra" y para eso designan un jefe de barra y toman algunas providencias en relación a reuniones, confección de emblemas, quizá formación de una banda, etc. El sistema social "elemental" cambia entonces como producto de su organización. Toma una distribución menos probable, como consecuencia de ciertas normas, acuerdo e interacciones formalizadas.

Si, por alguna razón estos sistemas no son controlados, si los líderes fracasan en el desarrollo de sus funciones, si la "inercia" se introduce entre sus elementos, lo más probable es que comience a funcionar la entropía: los sistemas irán perdiendo su estructura y cohesión (o con los "hinchas" del club deportivo, observando el partido en actitudes netamente individuales).

Así, podemos pensar que todos los sistemas se ven atacados o influidos por la ley de la entropía, aun en estos sistemas en que, debido a su organización particular, sus elementos se distribuyen de una manera tal que dejan de tener la distribución más probable. A través del tiempo estos elementos tienden a cambiar su distribución hacia aquel estado más probable, y este estado es la desorganización.

En resumen, el sistema pasa desde un estado "t" a un estado "$t + 1$" en que el desorden es mayor.[5]

Cualesquiera dueña de casa sabe el trabajo que cuesta mantener una casa en un estado de orden y lo fácil que es el desorden; basta no hacer

[5]Una explicación de la entropía en física, señala que los cuerpos (sistemas) se caracterizan por una distribución particular de la energía. Estas "bolsas" de energía o ese desequilibrio en su distribución es lo que le confiere a ese cuerpo sus características particulares (por ejemplo, hace que un carnicero sea diferente de un vaso o de una pelota de fútbol). La entropía tiende a eliminar las diferencias, lo que produce evidentemente el desaparecimiento de las características propias del objeto. Se dice que el cuerpo alcanza una distribución simétrica.
Es interesante señalar que, de acuerdo con estas ideas, simetría y desorden son sinónimos. Simetría significa el desaparecimiento de las desigualdades o diferencias provocadas por la organización. Desde ese punto de vista se puede concluir que la tendencia de los cuerpos es hacia los estados más simétricos, cada vez más desorganizados.

nada por un par de días para que la casa comience a desordenarse. Todo oficial sabe que la marcha ordenada de los soldados, lograda después de largos y arduos esfuerzos, degenera rápidamente en desorden cuando se pierde la disciplina.

La ley de la entropía indica que esta es creciente, es decir, la entropía va en aumento. Los sistemas pasan por diferentes estados, cada vez más desordenados y más caóticos. Sin embargo, la simple observación del transcurso histórico de numerosos sistemas, parece contradecir este aspecto de la ley de la entropía siempre creciente. Por ejemplo, la Iglesia Católica al cabo de dos mil años de existencia no parece indicar un grado de desorganización ni de caos. Los países, las empresas industriales, la familia, etc., son otros ejemplos que se suman al anterior, y así podríamos encontrar muchos más. En numerosos casos, los sistemas mantienen su ordenamiento a través del tiempo. Aún se presentan otros casos en que los sistemas parecen organizarse más a medida que pasan de un estado a otro.[6]

Sin embargo, esta contradicción o violación de la ley de la entropía es más aparente que real. Si observamos los sistemas que "violan" la ley, podemos concluir que ellos poseen una importante característica en común. Todos son sistemas vivos y, más general aún, son todos sistemas abiertos.

5.4 La neguentropía y la subsistencia del sistema

En el mundo físico no existe creación de neguentropía o entropía negativa. En otras palabras, dentro de los sistemas cerrados, se observa un desarrollo siempre creciente de la entropía. Esta afirmación se ve ilustrada por el caso del ladrillo citado anteriormente, donde la entropía se encuentra representada por la transformación del ladrillo en granos de arcilla. Cualquier objeto físico, por muy resistente que pueda aparecer, se encuentra sometido al desgaste del tiempo y su fin es inexorable.

Como señalábamos anteriormente, los sistemas vivos evitan el decaimiento a través de los alimentos, pero ¿qué es aquello, tan precioso en nuestro alimento que nos mantiene vivos? La respuesta es la siguiente: Todo proceso, suceso u ocurrencia, en una palabra, cada cosa que

[6]Por ejemplo, si observamos la historia de los partidos políticos chilenos, podemos encontrar a varios de ellos que a medida que crecían iban dándose estructuras cada vez más complejas y en algunos casos esta organización llegaba a establecer estructuras totalmente monolíticas, carcterizadas por una alta eficiencia de su organización.

sucede en la naturaleza, significa un aumento de la entropía en aquella parte del mundo donde ese suceso ocurre.

Así, un organismo viviente continuamente incrementa su entropía, y por lo tanto, tiende a aproximarse al peligroso estado de entropía máxima, que significa la muerte. Sólo se puede mantener alejado de ella, es decir, vivo, si continuamente está extrayendo de su medio entropía negativa (que es algo muy positivo, como veremos enseguida). Un organismo se alimenta de entropía negativa o, colocándolo de una manera menos paradójica, lo esencial en el metabolismo es que el organismo tiene éxito en liberarse de toda la entropía que no le ayuda a permanecer vivo. En otras palabras, el organismo se alimenta de entropía negativa atrayéndola hacia él para compensar el incremento de entropía que produce al vivir y manteniéndose así, dentro de un estado estacionario con un nivel *relativamente bajo* de entropía.

Ahora bien, la expresión "entropía negativa" (o neguentropía) es en sí una medida de orden. De este modo, el mecanismo mediante el cual el organismo se mantiene estacionario y a un nivel bastante alto de ordenamiento (es decir, a un nivel bajo de entropía) realmente consiste en extraer continuamente orden (u organización) de su medio.

Así, los sistemas abiertos al extraer orden del medio y reemplazar con él el desorden producido por sus procesos vitales, rompen la ley inexorable que ataca a los sistemas: la entropía creciente. Podemos, entonces, establecer claramente una nueva distinción entre sistema cerrado y sistema abierto. El sistema cerrado tiene una vida contada, sucumbe ante la entropía creciente. El sistema abierto presenta características tales (interacción con su medio e importación de entropía negativa u orden) que está en condiciones de subsistir y aún de eliminar la ley de entropía.

Volvamos al ejemplo sobre el crecimiento de una ciudad en un medio agrícola que utilizamos en otra sección. El crecimiento de la ciudad incrementa, primero, la estructura interna de la ciudad misma. Segundo, aumenta la heterogeneidad de la llanura con la desviación de sus condiciones iniciales prevalencientes. Tercero, el crecimiento de la ciudad en ese lugar puede tener un efecto de inhibición sobre el crecimiento de cualquier otra ciudad en la vecindad (así como la presencia de una piscina de natación puede inhibir a un empresario a abrir otra piscina a su lado, o como los árboles inhiben con su sombra el crecimiento de otras especies más pequeñas a su lado). Una ciudad necesita un medio que la apoye y, por esto, las ciudades deben encontrarse especializadas dentro de algunos intervalos. Este efecto de inhibición aumenta la heterogeneidad de la llanura.

El crecimiento gradual de la heterogeneidad es un proceso que va contra la segunda ley de la termodinámica. Recordemos en pocas palabras que esta ley establece que un sistema aislado tiende a alcanzar su estado más probable. De aquí que, cuando un sistema de este tipo se encuentra en un estado improbable, es casi seguro que en el futuro lo encontraremos en un estado más probable. Bajo el supuesto de la aleatoriedad de los eventos, los estados homogéneos son más probables que los heterogéneos. Sin embargo, en nuestro caso, en el futuro parece ser que la región agrícola se hace cada vez más heterogénea.

Cualquier proceso, tal como el crecimiento biológico, que aumenta la estructura, organización y heterogeneidad, está contra la segunda ley de la termodinámica. Esta situación se puede explicar argumentando que los sistemas no se encuentran aislados, argumento que estudiaremos en el punto siguiente.

5.5. La generación de la neguentropía

Hemos señalado ya, como una diferencia entre los sistemas abiertos y los cerrados, que los primeros intercambian energía con su medio. Esquemáticamente de acuerdo con las descripciones del capítulo N°3, un sistema abierto puede presentarse como aquel que importa energía (corriente de entrada), transforma esa energía (proceso de transformación) y luego exporta al medio esa nueva energía. Con el producto de esa exportación, el sistema está en condiciones de obtener nuevamente sus corrientes de entrada necesarias para llevar a cabo el proceso de transformación que lo caracteriza y diferencia del resto de los sistemas.

La figura 5.1 señala este proceso

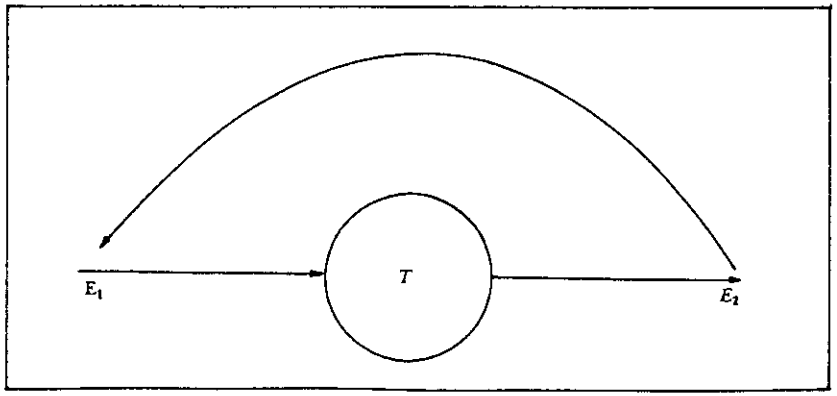

Figura 5.1

Así, E_2 tiene que ser capaz de generar E_1 (en que E_1 es la energía de entrada y E_2 es la energía de salida).

Ahora bien, el sistema abierto puede almacenar energía, es decir, no toda la energía (E_1) debe ser utilizada en la transformación (T). Supongamos que E'_1 es la energía destinada al proceso de transformación propiamente tal y E''_1 es un saldo. Entonces:

$$E_1 = E'_1 + E''_1$$

o

$$E_1 - E'_1 = E''_1$$

E''_1 representa entonces una cantidad de energía no utilizada en el proceso de transformación o de elaboración del producto particular del sistema. Es una energía que permanece (o se acumula) dentro del sistema y es justamente este E'_1 el que sirve de base para la creación de la neguentropía o entropía negativa.

Observemos a continuación un ejemplo en que se ilustra la acción de la entropía y la neguentropía en un sistema social.

Supongamos que un grupo de personas aficionadas al juego de damas deciden formar un club de damas. Para esto se reúnen, se organizan, establecen ciertas responsabilidades que deben cumplir tanto los directivos como los socios, fijan las cuotas, etc. Este club es un sistema social abierto. Recibe una corriente de entrada consistente en dinero (las cuotas) y en todos los recursos necesarios para mantener el club en funcionamiento. El proceso de conversión o de transformación está constituido por el juego mismo (los campeonatos) y la corriente de salida es la satisfacción que el club entrega a cada uno de los miembros. Una buena corriente de salida servirá para mantener una corriente de entrada adecuada en forma constante, permitiendo así al club subsistir sin grandes apremios.

Ahora bien, para lograr esta corriente de salida se lleva a cabo el proceso de transformación que, como indicábamos más arriba, son los partidos o juegos de damas. Para que este proceso opere, es necesario que exista una *diferencia* entre las capacidades de juego y el conocimiento entre los diversos miembros. Al existir esta diferencia (unos jugadores son mejores que otros) se produce un incentivo para jugar y así aumentar el grado de satisfacción de los socios. En otras palabras, un requisito básico para el funcionamiento de este sistema (y en general

para cualquier sistema competitivo) es el desequilibrio en el conocimiento que los miembros del club poseen sobre las damas. Supóngase ahora que nuestro club debe enfrentarse con un club extranjero. Para ello deben viajar a ese país y lo hacen por avión; éste cae en una isla solitaria, salvándose solamente los miembros del club. La isla es un paraíso y no existen problemas de alimentación y abrigo. Sin otra cosa que hacer, nuestros personajes pasan todo el día jugando damas. ¿Qué podría suceder al cabo de un tiempo?

Simplemente que comienza a equilibrarse el conocimiento. Las diferencias que antes existían entre los diversos jugadores se van haciendo cada vez más pequeñas y puede llegar un momento en que todos juegan de una misma manera. Al llegar a este punto, lógicamente, el interés derivado del juego no sólo decrece sino que se hace nulo, es decir, la corriente de salida disminuye hasta desaparecer definitivamente, por lo tanto, se hace incapaz de regenerar nuevamente la corriente de entrada. Esto conduce a la desintegración del sistema social; lo ha destruido la entropía.[7]

La distribución escalonada del conocimiento y capacidad de juego de los diversos jugadores, de mayor a menor, no representa el estado más probable del sistema. Desde el punto de vista de un sistema jerarquizado, podemos señalar que el máximo desorden (o máxima entropía) se produce cuando se llega a un estado tal en que todos los elementos del sistema poseen una misma jerarquía.

Podemos representar este fenómeno de la siguiente forma:

- Sea "x" la corriente de entrada del sistema.
- Sea "T" el proceso de transformación.
- Sea "y" la corriente de salida.
- Sea "Ax" una cantidad negativa que representa la entropía.

Gráficamente el sistema se muestra en la figura 5.2.

De este esquema se puede concluir que:

$$y - T(x)$$

[7]Si alguien aficionado al juego del "gato" lo desarrolla constantemente con otra persona, por un período más o menos largo, es muy probable que ambos jugadores lleguen a conocerse tanto, que puede suceder que, a la primera jugada realizada por uno de ellos, el segundo jugador se dé cuenta de inmediato que ha ganado, ha hecho tablas o ha perdido el juego. Indudablemente que cuando se llega a este estado, se acaba el juego.

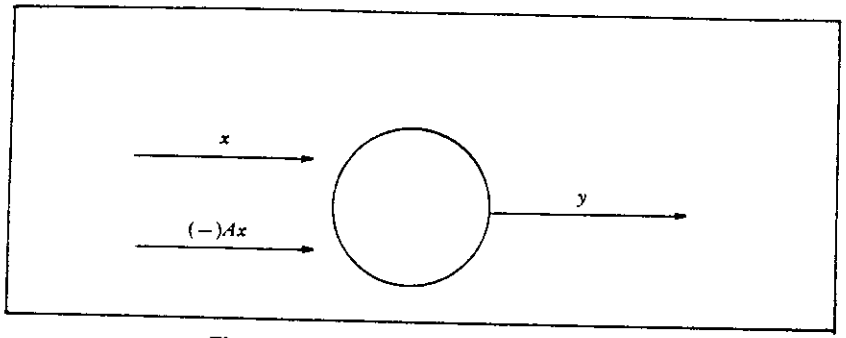

Figura 5.2 Interacciones de un sistema abierto

es decir, la corriente de salida es igual a la corriente de entrada transformada. Se supone que "y", a su vez, debe generar a "x". Por lo tanto:

$$y = x \text{ (en términos de } valor\text{)}.$$

Sin embargo, de acuerdo con el sistema planteado, esto no se cumplirá, ya que la entropía $(-)\,Ax$, hace disminuir la energía necesaria para la transformación, lo que se traduce en un "y" menor.

En el caso del club de damas, "x" representa los recursos necesarios para poder desarrollar los juegos; "T" son los juegos e "y" es el grado de satisfacción de los miembros. $(-)\,Ax$ es la tendencia hacia el equilibrio del conocimiento.

¿Cómo se puede combatir esta entropía? Siempre en el caso del ejemplo planteado, esto se lograría evitando que se produzca esa igualdad, lo que se puede lograr "importando" conocimientos nuevos (incorporación de nuevos socios, compra de libros especializados, contratación de alguna "maestro", etc.).

Sin embargo, para llevar a cabo todos estas acciones es necesario disponer de energía (recursos). Si toda la energía que trae la corriente de entrada es destinada a los juegos mismos, evidentemente que no dispondremos de energía adicional para estas otras actividades. Pero si la energía generada por la corriente de salida es *mayor* que la necesaria para adquirir la corriente de entrada destinada al proceso de transformación, entonces sí que se puede obtener energía adicional. Es este saldo el que se utiliza para combatir la entropía. En otras palabras, así se genera la neguentropía o entropía negativa.

Por lo tanto, la condición necesaria para sobrevivir es:

$$y > x \text{ (en términos de valor)}$$

Luego, nuestro sistema para poder sobrevivir debe desarrollar algunos subsistemas, en que:

- $y\,(a + b)$ representa el total de la corriente de salida.
- $y\,(a)$ es la energía que el sistema entrega al medio para adquirir "x".
- $y\,(b)$ es la energía que se guarda (o vuelve al sistema) para combatir la entropía "Ax".

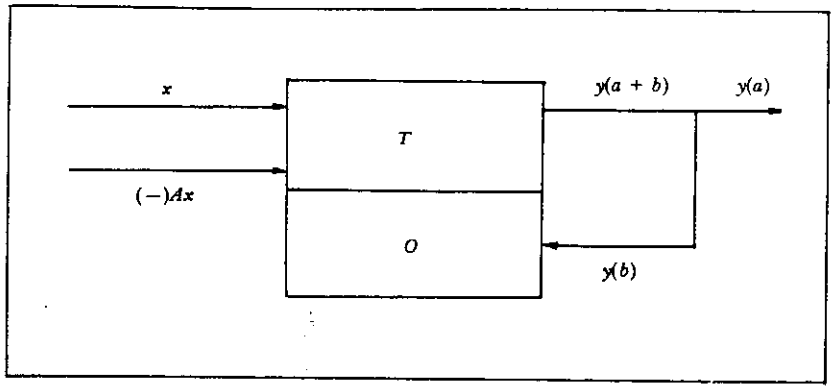

Figura 5.3

O es el proceso (organización que se desarrolla dentro del sistema para combatir la entropía, utilizando la energía $y(b)$,).

Si $y\,(b) = Ax$, tenemos un sistema que sobrevive;
si $y\,(b) = Ax$, tenemos un sistema en expansión;
y si $y\,(b) = Ax$, tenemos un sistema en descomposición.

En general los sistemas sociales no gastan toda la energía creada por la corriente de salida en el proceso de fabricación o en general, en la producción. Una fábrica de zapatos no destina la totalidad del ingreso a fabricar más zapatos. La organización del sistema representa al proceso que lucha o se opone a la entropía, y la energía gastada en mantener el sistema organizado es la entropía negativa o neguentropía.

5.6 *Entropía e información*

La entropía tiene también efectos en la información. Las informaciones son comunicadas a través de mensajes que son propagados desde un punto (fuente) a otro (receptor) dentro del sistema social, a través de los canales de comunicación y utilizando diversos medios. Es evidente que las informaciones contenidas en los mensajes pueden sufrir deformaciones, interrupciones o accidentes. Estas eventuales alteraciones del mensaje, durante su transmisión, tienen una gran importancia, porque pueden significar una modificación substancial de la información. En otras palabras, existe la probabilidad de que el mensaje, durante el proceso de la comunicación, se desorganice, como consecuencia de las condiciones físicas o de otro tipo de su propagación. Como señala Aldunate Phillips.[8]

> La transcripción del texto en señales y las señales en texto, a la partida y a la llegada, tienden a deteriorar, a hacer menos informativa la transmisión.

En realidad podemos pensar que la información que proporciona un mensaje al ser transmitido, tiende a disminuir, pero nunca a aumentar. Es difícil imaginar que durante el proceso de transmisión aumente la información contenida en el mensaje (a menos por, supuesto, que el canal sea múltiple y abierto, es decir, que lleguen a él otras informaciones a medida que avanza la comunicación). En un experimento desarrollado con alumnos graduados en el cual se trató de probar la pérdida de informaciones que sufría un mensaje a través de un canal serial (un tipo de canal en que el mensaje es solamente repetido), se pudo comprobar que de diez informaciones específicas que contenía el mensaje inicial, al llegar éste a su destino, habían desaparecido ocho informaciones (esto aparte de la distorsión). Esta pérdida de información equivale a la entropía.

Ahora bien, la información, como tal, puede considerarse como una disminución de la incertidumbre o del caos, y en este sentido, la información tiende a combatir la entropía; la información es, pues, neguentropía.

Tratemos de probar esto: Drechsler,[9] ha demostrado que un sistema se encuentra en su máxima entropía cuando las probabilidades de pasar de un estado 1 a uno 2, o a uno 3 o a uno N, son las mismas, es decir, cuando:

[8] A. Aldunate Phillips, *op. cit.*, p. 223.

[9] F. S. Drechsler, "Decision Trees and the Second Law", en *Operational Research Quarterly*", 1968, pp. 409-419.

$$P(1) = P(2) = P(3) = P(4) \ldots P(N) = \frac{1}{N}$$

Por ejemplo, si estamos dentro de una pieza completamente obscura y se nos pide encontrar una moneda que está en el suelo, la probabilidad de que se encuentre en algún punto determinado (una esquina) es igual a la probabilidad de que se encuentre en cualquier otro punto (cerca de la ventana, bajo una mesa, etc.). En efecto, la moneda puede estar en cualquier parte. En ese momento, nos encontramos en un estado de máxima entropía o incertidumbre total: no sabemos qué hacer.

Pero si la moneda al caer al suelo ha sonado, este sonido es una información que recibimos y que nos indica una cierta área del suelo donde podría estar la moneda. Esta información hace variar las probabilidades. Ahora sabemos positivamente que la moneda está cerca de la puerta; por lo tanto, las probabilidades de ese sector aumentan, mientras disminuyen las probabilidades de que la moneda se encuentre en otros sectores; incluso, algunas de éstas se hacen cero (sabemos que *no* está cerca de la mesa ni cerca de la ventana).

Hemos pasado desde un estado de máxima entropía (de igual *distribución* de las probabilidades) a un estado con menor entropía (probabilidades desiguales).

En este sentido, podemos suponer la relación:

Información ⇒ (−) Entropía

o bien:

Información ⇒ Neguentropía

Aún más, la cibernética ha llegado a definir la entropía negativa (o neguentropía) y la información mediante una transición en dos sentidos:

Neguentropía ⇐⇒ Información

De Beauregard, [10] ha indicado:

> Nótese bien que el significado de la palabra 'información' no es lo mismo en los dos sentidos.
>
> En la transición directa neguentropía información, esta última significa la adquisición de conocimientos; este es el sentido moderno corriente, y la transición correspondiente parece ser el proceso elemental de *observación*. En la transición

[10] De Beauregard, citado por Miller en "Living Systems". *Behavioral Sciences*" 10, pp. 193-237.

recíproca Información - Neguentropía, información significa *poder de organización:* es el antiguo sentido aristotélico,[11] y la transición correspondiente parece indicar el proceso elemental de *acción*.

De acuerdo con nuestro ejemplo del club de damas, parece ser claro el sentido de la primera transición. Efectivamente, la entropía negativa o neguentropía representa nuevas informaciones sobre estrategias, jugadas, etc. del juego de damas, con el fin de mantener el desequilibrio de conocimiento entre los miembros del club. Este último dispone de energía que puede ser utilizada en las observaciones o el estudio, es decir, en la obtención de informaciones.

Observando la segunda transición (información-neguentropía) tenemos que la información acumulada evita la igualdad o equilibrio del conocimiento, de tal forma que evita la entropía. La información una vez elaborada (nuevas competencias, cursos de capacitación, etc.), representa una acción organizada tendiente a combatir la entropía positiva del medio.

De Beauregard[12] concluye:

> Admitir, como lo hace la cibernética, reciprocidad de la transición neguentropía-información, es admitir *ipso facto*, la equivalencia de los dos significados, el moderno y el aristotélico de la palabra información.

Las relaciones entre información y entropía se resumen en la tabla 5.1 y fue extraída del artículo de Miller, ya citado previamente. En ella se indica la existencia de una serie de pares de *antinomia*; un miembro de ellos se asocia con el concepto de información y el otro con el concepto de entropía.

Algunos de estos pares están formados por términos técnicos precisos; otros son palabras de sentido común que pueden ser muy vagas.

5.7 Información y organización

Hemos indicado más arriba que, mientras la entropía es una medida de desorden, la información es una medida de organización. Esto quiere significar que si comenzamos a obtener informaciones referentes a algunos hechos desordenados y al azar, es posible que comencemos a en-

[11]Aristóteles definió el estudio de la Retónica (comunicación) como la búsqueda "de todos los medios de persuación que tenemos a nuestro alcance" W. R. Roberts "Rethorica", en *The Works of Aristotle*, editado por W.D. Ross (Oxford. University Press, 1946) Vol. XI p. 6.
[12]De Beauregard, *op. cit.*, p. 194.

TABLA 5.1

Información (H)	*Versus*	*Entropía (S)*
Información	$H = -S$	Incertidumbre
Neguentropía		Entropía
Señal		Ruido
Precisión		Error
Forma		Caos
Regularidad		Azar
Modelo o forma		Falta de modelo o forma
Orden		Desorden
Organización		Desorganización
Complejidad Regular		Simplicidad Regular
Heterogeneidad		Homogeneidad
Improbabilidad (una sola alternativa describe correctamente la forma)		Probabilidad (más de una alternativa describe correctamente la forma)

contrar ciertas relaciones y que finalmente, podamos estructurar un modelo que nos describa la conducta de esos eventos.

March y Simon,[13] señalan que la capacidad de una organización para mantener un modelo de actividad altamente complejo e interdependiente se encuentra limitada, en parte, por su capacidad para manejar y elaborar la comunicación requerida para la coordinación. Ellos plantean la siguiente hipótesis:

> Mientras mayor sea la eficiencia de la comunicación (. . .) dentro de la organización, mayor será la tolerancia hacia la interdependencia (. . .).

Un sistema social implica una restricción de las comunicaciones entre sus miembros. Si tomamos un grupo desorganizado, sesenta personas por ejemplo, comunicándose al azar dentro de una pieza grande, el número potencial de canales de comunicación es 1770.[14] Si ellos se encontraran organizados en una red de doce combinaciones de cinco personas, de modo que cada personas de cada grupo de cinco tuviera un papel claramente definido y fuera interdependiente de las otras cuatro, el número de canales dentro del grupo de trabajo sería reducido a diez.[15]

[13]Marcn y Simon, "Organizations", (N. York Wiley & Sons Inc., 1958), pp. 161-169.
[14]El número de canales está determinado por $n(n - 1)/2$.
[15]Kats y Kahn, *op. cit.*

Por otra parte, Katz y Kahn señalan enfáticamente que "moverse de un estado desorganizado a uno organizado requiere la introducción de restricciones para reducir lo difuso y la comunicación al azar". Se canaliza la información con el fin de cumplir con los objetivos de la organización. En términos de la teorías de la información, la comunicación libre, sin restricción, produce ruido dentro del sistema, "Sin un modelo, sin pensar, sin precisión, existe un sonido pero no música. Sin estructura, sin ritmo, sin especificaciones, existe una Torre de Babel de lenguas e idiomas, pero no existe un sentido".[16]

Thelen[17] resume de la siguiente manera la contribución de Ashby en relación al problema de la selectividad en la comunicación:

> Cualquier sistema viviente es una asociación infinitamente compleja de subsistemas. El complejo suprasistema posee todas las propiedades de un sistema además de comunicaciones a través de las fronteras de los subsistemas. El brillante tratamiento de Ashby muestra que la estabilidad del suprasistema tomaría un tiempo infinitivamente extenso para ser lograda *si* existieran "comunicaciones completas y ricas" entre los subsistemas, porque, en realidad, todas las variables de *todos* los subsistemas tendrían que ser satisfechas de inmediato, un suceso totalmente improbable. Si se restringiera la comunicación entre los subsistemas, o si éstos fueran temporalmente aislados, entonces cada subsistema lograría su propia estabilidad con un mínimo de interferencia del medio en cambio de los otros subsistemas que buscan estabilidad. Con comunicaciones restringidas y limitadas es posible acumular éxito (por ejemplo, a través de pruebas y aproximaciones sucesivas) mientras que en el suprasistema individual el éxito es el resultado de una acción que involucra todo o nada. . . Así, la forma a través de la cual se mueve el sistema total hacia su equilibrio depende mucho de las correcciones funcionales entre sus partes. La adaptación de todo el sistema hace uso de dos condiciones: corrección suficiente, de modo que la operación de un subsistema pueda activar a otro, con el fin de que las contribuciones de todos puedan contribuir al total; y suficiente separación entre los subsistemas, para que sea posible alguna especialización de funciones y que el sistema como un todo pueda aproximarse hacia ese "equilibrio". Pero, jamás un suprasistema tendrá un equilibrio en todos sus subsistemas en el mismo momento. Cada subsistema tiene un "poder de veto" sobre el equilibrio de otro subsistema y, bajo una variedad de condiciones, un subsistema puede dominar a otro.

Lo que hemos señalado en estos últimos párrafos significa que, para que el sistema pueda operar dentro de cierto equilibrio, es necesario

[16]Kats y Kahn, *op. cit.*

[17]H.A. Thelen, artículo mimeografiado, 1960, citado por Katz y Kahn en op. cit. Ashby *"Introducción a la Cibernética"*. Buenos Aires, Ed. Nueva Visión, 1960, establece las condiciones del equilibrio. Señala que "si el todo se encuentra en un estado de equilibrio, cada una de las partes debe estar en estado de equilibrio en las condiciones determinadas por la otra parte", p. 117.

una limitación de las comunicaciones, es decir, que los sistemas sociales *deben* poseer una red selectiva de comunicación.

Sin embargo, esto parece estar en cierta contradicción con lo señalado anteriormente en relación a la entropía y la información. Se decía que a medida que aumentaba la información (y por lo tanto la neguentropía) aumentaba la organización. Pero, por otra parte, un exceso de información parece limitar o disminuir la efectividad de la organización. En efecto, el sistema social posee una capacidad limitada para elaborar la información. En otras palabras, una corriente de entrada de información superior a la capacidad de elaboración que posee el sistema, disminuye la habilidad de éste para operar en su medio; en efecto, puede actuar como una fuerza de entropía positiva.[18]

La información fluye hacia la organización desde diferentes fuentes. Una de ellas es el flujo de transacciones entre la organización y parte de su medio ambiente (por ejemplo, las informaciones sobre el mercado). Otra fuente es la información generada por los miembros de la organización. Surgen numerosos problemas para la obtención de la información desde las fuentes hasta los receptors. En cada uno de estos centros receptores existe la tendencia a revisar, consciente o inconscientemente, la información antes de transmitirla a la unidad siguiente. Por lo tanto, la información es "filtrada" en cada centro receptor.

Un exceso de información en estos centros tiende a aumentar el trabajo de elaboración de esa información y a incrementar los ruidos de los canales. Esta sobrecarga en los canales conduce a omisión, error, dilatación, filtración, aproximación y escape. Todos ellos son formas de entropía, es decir, tienden a crear el desorden o la desorganización.[19]

[18]Es un hecho conocido que si pedimos a estudiantes de un curso de física de educación que resuelva un problema de velocidad, y les damos como dato el espacio y el tiempo, ellos, conociendo la fórmula $V = s/t$, no tendrán dificultad de resolverlo. No será así si además del espacio y el tiempo, le damos información "extra", como aceleración y masa del vehículo, humedad del aire, etc. Este exceso de información dificultará la resolución del problema. En la organización suceden casos similares cuando quienes toman un tipo de decisiones reciben más información de la necesaria. La tendencia no es a eliminar la información excesiva, sino a tomarla en cuenta, a buscar los efectos que podría tener para las decisiones, que, generalmente, consisten en diluir y complicar el proceso de decisiones.

[19]Una información errada u omitida, por ejemplo, puede conducir a acciones que pueden fracasar una vez que han sido puestas en práctica. Indudablemente, estos fracasos significan fuerzas de desorganización que, persistiendo, pueden crear peligros para la existencia misma del sistema social.

CAPITULO 6

El principio de organicidad

6.1. El mundo en equilibrio

El mundo (o el universo) puede ser representado como un sistema o como una colección de muchos sistemas (o subsistemas) que de una forma u otra actúan y se interrelacionan unos con otros dentro de una realidad dinámica. Existe entre ellos un continuo intercambio de energía y se llevan a cabo millares de procesos de conversión. Fuerzas van y vienen. A las acciones se suceden las reacciones que no sólo afectan al sistema sobre el cual se ejecuta la fuerza sino que también sobre el sistema que la aplica y, más aún, sobre otros que, aparentemente, nada parecían tener que ver con aquel sistema que reacciona. En efecto, las acciones que toma el gobierno de un país repercuten, directa o indirectamente en la conducta de otros países y regiones que, en principio, parecerían totalmente aislados.Un buen ejemplo lo encontramos actualmente en las repercusiones económicas que surgen en diferentes países, especialmente europeos, cuando los Estados Unidos deciden devaluar el dólar, o visto desde otro ángulo, las políticas económicas desarrolladas por algún país europeo y seguidas por otros, terminan con la devaluación del signo monetario de un país ubicado en otro continente.

La crisis energética producida a fines de 1973, y que aún subsiste, es otro ejemplo a nivel mundial, que tiende a mostrar cuan interrelacionados se encuentran los diferentes países que ocupan la Tierra. Un conflicto entre las naciones del Medio Oriente con Israel tiene como resultados que millares de personas en Europa pasen frío o queden inmovilizadas, que muchos gobiernos deban cambiar sus políticas y programas de inversión, destinando ingentes recursos a la búsqueda y desarrollo

de nuevas fuentes de energía. El alza del precio en el petróleo provoca, a su vez, una inflación mundial, elevándose los precios de las materias primas y, como consecuencia de esto, de los productos terminados.

Sin embargo, a pesar de toda esta enorme dinámica de fuerza, de acciones y reacciones entre los diferentes sistemas, no existe un caos, sino un cierto orden y equilibrio que dan más una impresión de avance suave que de cambios y avances pronunciados (aunque conocemos perfectamente la existencia de un proceso creciente de cambio).'

Este fenómeno, es decir, la acción equilibrada de la totalidad frente a la gran variabilidad que experimentan sus partes puede ser explicado a partir de dos concepciones diferentes. Una de ellas es el aparente equilibrio del sistema según la mecánica newtoniana y la otra es la teoría general de sistemas, especialmente desde el punto de vista de la cibernética.

6.2 La explicación newtoniana

Aparentemente siguen en vigor las leyes newtonianas. En efecto, Isaac Newton (1642-1727) definió varias leyes sobre el movimiento o mecánicas. La primera de ellas señala que cada objeto o cuerpo persiste en un estado de descanso o inmóvil, o con un movimiento uniforme en línea recta, a menos que sea forzado a cambiar de este estado por fuerzas ejercidas contra él. Así, una bola en movimiento sobre una superficie plana se mantendrá en movimiento, a menos que se ejerza alguna fuerza que la lleve a un estado inerte (de hecho, esta fuerza es la producida por el roce o la fricción de la bola con la superficie sobre la cual se desliza). A su vez, la bola inerte seguirá en ese estado, a menos que se le aplique una fuerza que la lleve nuevamente a su estado en movimiento.

Los movimientos de los astros en el universo, (la tierra por ejemplo) o el del mar parecen conducirse de acuerdo con esta primera ley de Newton. Y estos sistemas poseen la cualidad de mantenerse permanentemente en ese estado particular de movimiento. En otras palabras, son sistemas que no sufren cambio.

Sin embargo, al comienzo de este capítulo, señalábamos que nuestra tierra está compuesta por millones de subsistemas que en ningún momento parecen estar en un estado de quietud. Todo lo contrario. Hay movimientos continuos de un estado a otro, de estados más simples a estados más complejos. ¿Cómo entonces, se podría explicar esta aparente contradicción, es decir, cómo puede mantenerse el planeta

Tierra en una situación inerte (dentro de su movimiento constante alrededor del sol) mientras dentro de él sus subsistemas y las interacciones entre ellos surgen de continuos cambios de estado? Nuevamente es Newton quien puede darnos la respuesta. En efecto, observamos como define su tercera ley: A cada acción sigue una reacción igual: la acción mutua de dos cuerpos, del uno sobre el otro es siempre igual y en dirección opuesta. Cuando uno tira o empuja un cuerpo, también es tirado o empujado por ese objeto con una fuerza equivalente. Cuando presionamos una piedra con el dedo, el dedo es presionado por la piedra con una fuerza igual. Cuando sostenemos un libro con nuestras manos este tiende a bajar debido a la fuerza de gravedad. Para mantenerlo en esa misma posición, debemos ejercer una fuerza exactamente igual y hacia arriba.

Esta ley de Newton ha dado origen al principio de acción-reacción que señala que cada acción se encuentra acompañada por una o más reacciones, (este principio es más conocido como de causa-efecto). Por lo tanto, si bien es cierto que los diferentes subsistemas terrestres se mantienen en continuo movimiento, los cambios que se producen entre los subsistemas se cancelan unos con otros, permaneciendo así el sistema total (la Tierra) en equilibrio.

Quizá la idea que estamos tratando de desarrollar se explique mejor a través del concepto de *equilibrio estadístico.*

Supongamos un estanque con gas. Si pudieramos observar su interior (con los instrumentos apropiados) nos encontraríamos con millones y millones de partículas o moléculas de gas en constante movimiento, movimiento que no se caracteriza justamente por su uniformidad y su orden.[1]

En efecto, estas moléculas se encuentran (aun suponiendo una baja temperatura de ambiente en una pieza) en un estado de extrema agitación, estrellándose e intercambiando energía unas con otras. La posibilidad de estudiar estos movimientos y colisiones en términos de las leyes de Newton, dado su enorme número y sus reducidísimas dimensiones, parece estar definitivamente eliminada ¿Cómo explicar entonces su equilibrio? La respuesta es que, a pesar de que dentro del contenido del estanque es imposible comprender el comportamiento de una partícula de gas entre un momento y otro, el hecho de que el sistema como un todo permanezca

[1]Por ejemplo, para dar un orden de magnitud, dieciocho gramos de agua contiene 6×10^{23} moléculas de agua y un centímetro cúbico de aire contiene 10^{19} moléculas.

sin cambios a través del tiempo (a temperatura constante) indica que el *promedio* de las condiciones internas no cambia. En ese sistema aislado se desarrolla un estado de *equilibrio estadístico*.

Pensemos ahora en un sistema más próximo a nosotros, por ejemplo una Universidad en situaciones normales. Este sistema Universidad se encuentra formado por miles y miles de participantes[2] que diariamente se encuentran en constante intercambio de energía. Sin embargo, es difícil percibir cambios en el corto plazo. El estado particular en que se encuentra hoy día la Universidad no difiere prácticamente en nada del estado en que se encontrará en la próxima semana, a pesar de esa intensa y dinámica acción y reacción que se lleva a cabo dentro de ella. Podemos afirmar que se encuentra en un estado de equilibrio estadístico.

Así, en general, podemos señalar que un sistema social (de todo tipo) se encuentra en un equilibrio estadístico cuando en promedio sus condiciones internas permanecen constantes, o cuando el todo permanece inmóvil durante el tiempo.

Sin embargo, esta estabilidad está lejos de ser una condición feliz o estadística. Más bien este equilibrio representa un tenue balance entre los ciclos hacia arriba y hacia abajo, entre la vida y la muerte, entre las acciones y las reacciones que representan la conducta característica de los subsistemas que conforman al sistema en particular.

6.3. La explicación de la Teoría General de Sistemas

A. Lazslo plantea una definición de sinergia desde el punto de vista de la variabilidad del sistema total en relación a la variabilidad de sus partes y enuncia la siguiente ley:

$$V_t < V_A + V_B + \ldots\ldots\ldots V_N$$

ó $$V_t < \Sigma\,(V_i)$$

ló que expresado en palabras significa que un objeto es un sistema cuando la variabilidad que experimenta la totalidad es menor que la suma de las variabilidades de cada una de sus partes o componentes.

[2]Por ejemplo, la Universidad de Chile cuenta con más de 80.000 participantes entre alumnos, profesores y personal administrativo.

Este fenómeno lo podemos observar, por ejemplo, en las actividades de la totalidad de las abejas en un panal. Mirando en forma global, nos parece estar observando una enorme variabilidad en la conducta particular de cada abeja o de grupos de abejas. Sin embargo, si consideramos al panal como una totalidad, podremos observar que su conducta es bastante equilibrada y ello nos permite predecir el comportamiento del panal como una empresa productora de miel de abejas. Por otra parte, si examinamos el problema de la temperatura del medio y la temperatura del cuerpo de sistemas vivos (por ejemplo, el hombre), podemos observar el siguiente fenómeno: la temperatura del medio, en un día cualquiera, es variable, oscila entre un punto mínimo y un punto máximo, (normalmente el mínimo se da alrededor de las 6 ó 7 de la mañana y el máximo entre las 3 y 5 de la tarde), en cambio la temperatura del cuerpo es constante (del orden de los 36°C). Es decir, se presentan dos curvas de acuerdo con la figura 6.1.

Se puede observar que existe una gran variabilidad en el medio y una constancia en el cuerpo. El mecanismo que permite que esto suceda es el denominado "homeóstato" (derivado de homeóstasis). En otras palabras, a medida que varía la temperatura externa, el homeóstato va desarrollando un programa ya preparado y que pone en funcionamiento distintas reacciones químicas y físicas en el cuerpo humano que tienden a crear más calor (el tiritar) o a eliminar calor (la transpiración). Todo esto dentro de ciertos límites. Cuando existen temperaturas extremas es posible que el homeóstato no sea capaz de cumplir con su misión y la conducta del cuerpo deba ser decidida y dirigida desde un nivel mayor de complejidad. Este es el caso cuando la temperatura baja a varios grados bajo cero. El cuerpo no reacciona y la dirección superior (el cerebro) decide abrigarlo más. Si esto no pudiera ocurrir, sencillamente el sistema moriría, pues la variación del medio salió de los "límites naturales" frente a los cuales se producía esta homeóstasis específica. Un ejemplo de la aplicación de este principio (ejemplo ya famoso) lo encontramos en el termostato de la calefacción. Si uno analiza su funcionamiento y el principio sobre el cual opera, puede llegar a la conclusión de que el termostato es una aplicación biónica[3] del principio de la homeóstasis en el caso de la mantención de la temperatura en el cuerpo vivo.

Ahora, si unimos los dos conceptos que hemos desarrollado, la variabilidad de los subsistemas y la variabilidad del medio, podemos

[3]La biónica es el estudio de los mecanismos desarrollados por sistemas vivos, para ser reproducidos artificialmente con el fin de satisfacer necesidades humanas. Por ejemplo, el estudio de los mecanismos de dirección del murciélago se tradujo en el radar; el de los delfines en el "sonar".

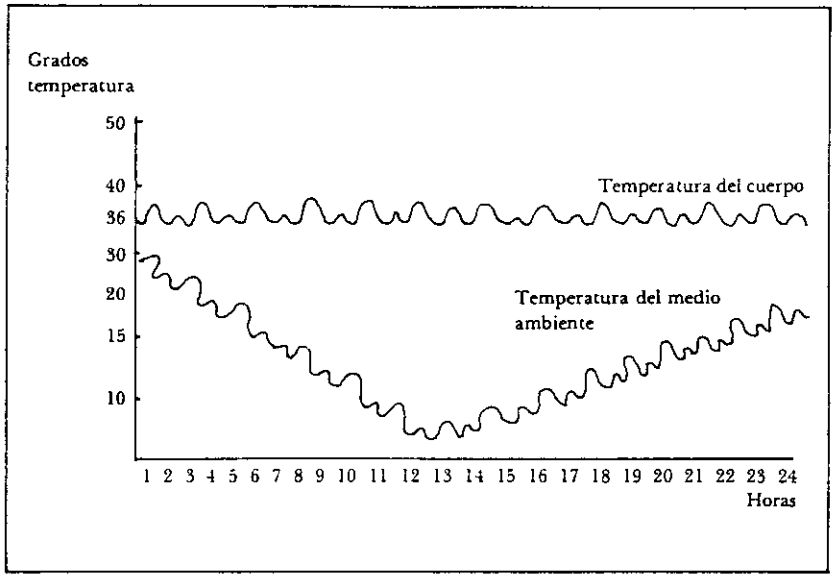

Figura 6.1

comprender el equilibrio que puede mostrar un sistema. En efecto, frente a los *cambios externos* que se producen en su medio, el sistema, provisto de los homeóstatos necesarios, aminora esos impactos, desarrollando programas pre-establecidos que tienden a hacer posible una serie de reacciones internas del sistema que lo defienden de las variaciones del medio. Por otra parte, el principio de la sinergia tiende a nivelar los *cambios internos* que sufren los subsistemas. Todo esto hace que el sistema tenga la propiedad de *autocontrol* y de *autorregulación* que lo lleva hacia un equilibrio homeostático o hacia un "estado permanente".[4]

> El estado permanente se caracteriza por la mantención de una relación determinada y estable entre la energía que entra al sistema (corriente de entrada) y la energía que sale del sistema (corriente de salida).

Esta situación no implica un estado inmóvil de equilibrio. Existe un flújo continuo de energía desde el medio externo y una exportación continua de los "productos" del sistema hacia el medio. Aunque, el sistema, en un estado permanente, a medida que pasa no es idéntico al organismo que fue, pero si, bastante similar, mantiene su mismo "carácter".[5] Este intercambio con el medio permite que el sistema pueda generar neguentropía y así obtener la energía necesaria para hacer funcionar los mecanismos homeostáticos correspondientes cuando los cambios del medio lo exigen, o los mecanismos de excepción cuando esos cambios superan el radio de acción de los mecanismos homeostáticos normales.[6]

[4]Traducción libre de la expresión inglesa "steady state".

6.4. *La evolución en equilibrio.*[7]

Sin embargo, este estado permanente o de equilibrio estadístico no es inerte. En el corto plazo, las acciones y reacciones que se suceden dentro del sistema no aparecen reflejadas en el carácter general del sistema, pero son fuerzas latentes que tratan de llevarlo a un cambio, aunque éste sea imperceptible. Por ejemplo, cuando el esposo llega de su trabajo, cansado y disgustado por algún problema en su oficina, es probable que esa tensión se descargue dentro del hogar y así se podrá escuchar una violenta discusión con su hijo o con su esposa. Ya entrada la noche y producida la calma, viene generalmentre la reconciliación. Sin embargo, ¿se puede afirmar que el sistema (el matrimonio o la familia) se encuentra en el mismo estado que en el momento previo a la disputa?. No. El incidente puede haber hecho surgir nuevas ideas, nuevas actitudes y un nuevo marco de referencia mediante el cual enfocar alguna experiencia posterior.

Una tendencia al alza de los precios de las materias primas (cobre) puede iniciar un proceso de venta de estos materiales que haga que tiendan a volver a su nivel normal, pero las condiciones "restablecidas" rara vez (o nunca) son iguales o idénticas a la condición inicial, con respecto a los precios, a los consumidores y a la actitud de los propietarios de las minas. Se ha incrementado la diferencia que ya existía en el estado primitivo.

La acumulación de incrementos en el tiempo produce cambios más bien dramáticos. Esto es lo que uno observa cuando compara el mundo en 1950 con el mundo en 1975. Los cambios en tecnología, vida comunitaria, sistemas políticos, actitudes sociales, gustos y modas han sufrido un cambio considerable.

[5]O. Johansen B. "Diferenciación e Integración de los Sistemas Sociales", (Santiago, artículo no publicado, 1973).
[6]Esta materia fue tratada en parte en el capítulo 5.
[7]Las ideas de este punto han sido extraidas en una buena proporción de la obra de Parsegian, citada anteriormente.

En el mundo biológico los incrementos son frecuentemente identificables de generación en generación. A través del proceso de reproducción se puede observar que existe algún cambio pero no un cambio fundamental.

Existen entonces, dos fuerzas o dos aspectos en el comportamiento de los sistemas. Uno de ellos son las fuerzas que resisten los cambios bruscos, súbitos y severos, como en el caso que, ante una baja de los precios de un producto, surge de inmediato una mayor demanda para comprar. El otro aspecto es que los ciclos (económicos, de vida, etc.) son rara vez o nunca similares. En otras palabras, existen en la naturaleza fuerzas que buscan mantener un tipo particular de equilibrio al resistir los cambios rápidos, y fuerzas que demandan cambios, pero producidos por procesos lentos y evolutivos. Esto pone de manifiesto nuevamente aquel antiguo aforismo griego que indica que la naturaleza no se mueve a saltos.

6.5. El principio de la organicidad

Hemos observado que los sistemas tienden a permanecer en un cierto equilibrio (estadístico u homeostático). Pero en un capítulo anterior veíamos que existe una fuerza que tiende a destruir el sistema, el principio de la entropía siempre creciente. Aparentemente, parece existir aquí una contradicción entre esta tendencia al caos, por una parte, y por otra, un proceso de evolución que tiende a aumentar el grado de organización que poseen los sistemas (sistemas abiertos y, en especial, los sistemas vivos), fenómeno que podemos denominar el "principio de la organicidad". Esta aparente paradoja ha sido estudiada por varios autores. En efecto, John O'Manique[8] estudia ciertos conceptos propuestos por Teillhard de Chardin, especialmente su idea de la Hiperfísica. La Hiperfísica se asienta sobre la teoría general de la evolución y nace, por consiguiente, de las ciencias naturales. O'Manique cita a Bernard Tower[9] que, al indicar la importancia de la obra de Chardin señala que "el logro fundamental y precursor de Teillhard fue el de dar sentido a las dos ideas científicas más famosas, aunque aparentemente contradictorias, concebidas en el siglo XIX: por una parte la teoría de la evolución biológica y, por otra, el segundo principio de la termodinámica". La teoría de la evolución habla de una organización cada vez más compleja y la segunda ley, como sabemos, se refiere a la entropía creciente.

[8]J. O'Manique, "*Energía en Evolución*", (Madrid, Plaza Janés Ed., 1972).
[9]B. Tower en "*The Teillhard Review*", Vol. 1, N°2, p. 52.

Kenneth A. Boulding[10] estudia la "imagen" en la Teoría de la Organización y comienza su capítulo 2 como sigue:

> En la imagen de la historia del Universo, como nos la presenta la ciencia, parecen estar operando dos fuerzas o tendencias opuestas. Por una parte, tenemos la tendencia representada por la segunda ley de la termodinámica. Por la otra, observamos claramente a través de los registros de la historia, una tendencia diferente. Esta es la tendencia al surgimiento de la organización. Organización es cualquier cosa que no es caos, en otras palabras, cualquier cosa que es improbable.

El presente capítulo pretende analizar estos dos principios. Uno ha sido esbozado antes (el principio de la entropía) y discutido con alguna profundidad buscando demostrar que esta contradicción es más aparente que real, es decir, que se puede salir del dilema planteado. Ya al discutir la entropía, adelantábamos ideas que se discutirán aquí con mayor profundidad.

Wolfgang Wiese[11] plantea la opinión de que, junto a las conocidas leyes de la energía, debería existir una tercera ley, "la ley de la organización".[12] Señala que la organización de un sistema es un principio que no se puede referir a fuerza o materia "pero que, por sí, es una magnitud independiente, ni energía ni sustancia, sino algo tercero expresado por la medida y el modo de orden".

Parece ser que existe una tendencia natural, inherente a los sistemas vivos hacia la organización. Y esta tendencia en muchos casos es independiente de los centros "ejecutivos" o directrices de esos sistemas.

Observemos algunos ejemplos de organización.

Tomemos el caso de una pareja de leones con un cachorro. El macho se encarga de la búsqueda de alimentos mientras la hembra cuida y defiende al cachorro. Allí tenemos un sistema, la familia felina, bastante bien organizado.

Podemos pensar en un instinto animal, y esa es justamente la idea. La organización, en este caso, no es el producto de un pensamiento con-

[10]K. A. Boulding, "*The Image*", (Ann Arbor, The Michigan Press, 1956), cap. 2.
[11]W. Wieser, "*Organismos, Estructuras, Máquinas*", (B. Aires, Editorial Universitaria, 1962), p. 10-11.
[12]Como vimos en el capítulo anterior, las dos primeras leyes son las conocidas como "Primera y Segunda Ley de la Termodinámica". La primera se refiere a la conservación de la energía y la segunda a la entropía creciente.

sciente sino que responde a un acto instintivo, a una acción no gobernada por el discernimiento. Como sistema vivo lleva en sí el principio de la organización.

Siguiendo en el campo de la zoología, es impresionante a veces estudiar la conducta de algunos animales (e incluso de las plantas) que llevan a pensar en la existencia de un orden dentro de la naturaleza que tiende siempre hacia un equilibrio. Por ejemplo, la "conducta económica" de ciertos animales parecería indicar que, si bien es cierto que aquel comportamiento puede ser instintivo, es el producto de ajustes y adaptaciones de los modelos de conducta de toda una especie para poder vivir dentro de un medio determinado.

Por ejemplo, se ha observado que las hormigas "practican la ganadería". Efectivamente, a las hormigas les gusta un jugo muy agradable que segregan ciertas larvas de insectos, los "sinfilos", y se ha observado que dentro de sus "ciudades" mantienen y alimentan rebaños de dichos insectos. Algo así como la lechería. En los mares tropicales a los peces grandes, en general, como producto de sus correrías se les van adhiriendo moluscos y otros parásitos que limitan sus movimientos y su velocidad. Pues bien, cuando esto sucede, acuden al lugar en que saben que habitan ciertos peces vermiformes (peces en forma de gusanos); se detienen frente a sus moradas y abren sus agallas de una cieta manera que parece indicar que vienen en son de paz. Entonces salen estos "peces limpiadores" (así se les denomina) y proceden a quitarles los moluscos (que a su vez contituyen su alimento). Terminada la operación, el pez se retira y los peces limpiadores vuelven a sus refugios con el estómago lleno. Esta conducta no es muy diferente a la nuestra frente al peluquero o al dentista.[13]

Tomemos otro caso, ahora en un sistema social. Los grupos *T* ("Training Groups") se caraterizan por una desorganización inicial. Se reúnen en una sala un psicólogo con un grupo de personas que, aunque pueden estar relacionadas jerárquicamente en alguna empresa, en la sala aparecen iguales (incluso pueden conocerse allí). El psicólogo los deja actuar libremente. No les indica nada. Literalmente los recibe en la sala y no habla, no comunica. La conducta típica que se ha observado en estos grupos, es que, luego de una reacción agresiva inicial ("qué diablos estoy haciendo aquí", "no estoy para juegos"), comienza a surgir una conducta de grupo más organizada. Surge el o los líderes, surgen conflictos que, generalmente, se solucionan de alguna

[13]Ver Hans Hass, *"Energía y Evolución"*, (Madrid, Plaza y Janés Editores, 1972).

forma o bien se producen divisiones. Al término de la reunión nos encontramos con un grupo organizado que ha surgido de ese conjunto de personas sin roles determinados que se encontraron reunidas en un momento dado.

Se ha analizado anteriormente el concepto de *"Homeóstasis"* como un mecanismo que poseen los sistemas abiertos para llegar a mantener el equilibrio, una estabilidad. Arbib[14] define la existencia de homeóstasis en un sistema fisiológico cuando, dada una perturbación moderada que tiende a desplazar al sistema de sus valores normales, sus partes reaccionan e interactúan de tal modo que el efecto negativo de la perturbación disminuye.

Los mecanismos homeostáticos sugieren la existencia en el organismo fisiológico de una organización que no se encuentra regulada por la voluntad (en el caso del hombre) sino que es independiente de ella. Forma parte del sistema autonómico.

Los sistemas sociales (una empresa por ejemplo) contienen miles y miles de variables que podrían provocar cualquier conducta. Sin embargo, si observamos su comportamiento podemos ver que, generalmente, existe una cierta uniformidad que incluso nos permite predecir su conducta futura.[15]

Por ejemplo, tomemos el caso de la "Standard Oil Co. de Ohio". Como señala Mesteer[16] en el decenio de 1920, esta empresa, quizá ahora la más grande de los Estados Unidos, poseía una dirección bastante reducida para el tamaño de las operaciones que este trust desarrollaba. Mesteer describe así su función: "Los trustees habían formado una subcomisión que en número de 26, hacía el verdadero trabajo y dirigía el trust. Se reunían cinco veces a la semana; las reuniones eran secretas y no se llevaba ningún registro de las mismas. Y, sin embargo, esta comisión de trabajo fijaba las directrices para la "Standard", incluso en sus mínimos detalles.

[14]Michael A. Arbib, *"Brains, Machines and Mathematics"*, (N. York, Mc Graw Hill Book, 1965).
[15]W. R. Ashby (en "Introductory Remarks at Panel Discussion", en Mesarovic, *"Views on General Systems Theory"* N. York, John Wiley Sons Inc., 1964, pp. 165-169, señala que si estudiamos las interacciones dento de un sistema, frecuentemente el número de éstas se torna "astronómico". Por ejemplo, hablar del ordenamiento de las relaciones entre las posibles de un conjunto es equivalente a la función ($e^{(n)}$). Para visualizar lo que esto significa, en el caso de un conjunto con 5 elementos es superior a 10^{100}. Ahora bien, se ha calculado que el número de átomos de todo el universo visible es alrededor de $10,^{73}$ con razón Ashby señala "Cualquier cosa material se detiene en 10^{100}" (p.167).
[16]Hans Georg Mesteer, *"Rockefeller"*, (Barcelona, Ed. Bruguere S. A., 1968), p. 200.

Todos los gastos que superasen los US$5.000 tenían que ser aprobados previamente por el comité. La labor era inmensa: la compra del petróleo, de los productos químicos, de los tubos de acero para las conducciones; concretar nuevos acuerdos con las empresas de ferrocarriles, construir nuevos depósitos, regular todo lo referente a la exportación y los problemas de financiamiento; cincuenta refinerías de petróleo debían trabajar en perfecta armonía, 32.000 millas de "pipeline" tenían que ser administradas; dirigir todo el aparato administrativo, para citar algunos ejemplos.

Si se piensa en la enorme cantidad de gente cuya conducta debía ser dirigida para alcanzar los objetivos y las múltiples alternativas que cada uno de esos individuos podría desarrollar, se llega a la conclusión de que el sistema tiende a organizarse a sí mismo. Estudiar cada una de las alternativas de cada uno de los problemas que se presentan en cada una de las actividades de tal modo que se encausen las diferentes conductas en una forma tal que se logren los objetivos que se ha fijado el sistema, es humanamente imposible para un grupo tan reducido (y aun para un grupo con cualquier número de personas).

La idea del "homeóstato"[17] para Ashby no era otra cosa que tratar de demostrar el comportamiento de un sistema ultra estable en la búsqueda de su equilibrio.[18]

El homeóstato es una máquina sujeta a la definición de ese sistema. Su comportamiento tiende primero a ajustarse a la situación externa. Se enfrenta con lo que hasta ese momento es un problema no especificado y luego lo resuelve mediante una búsqueda ortodoxa de su estabilidad. Así, su conducta la lleva a mantenerse organizada como sistema. En este sentido esa máquina creada por el hombre parece ir en búsqueda de una meta, aunque detrás de ello aparentemente no exista racionalidad alguna. Así, la máquina se autoorganiza.

Este concepto es el que nos lleva a concluir en otro artículo.

> "Todo ese análisis nos podría llevar a pensar en una especie de mano invisible, más o menos al estilo de Adam Smith. Los sistemas sociales podrían considerarse

[17]Ashby, "*Proyecto para un Cerebro*", (Madrid, Ed. Tecnos, 1975).

[18]Ashby define un sistema ultra-estable como aquel que se adapta a su medio, poseyendo mecanismos de ajuste para este fin. Para mayor información sobre homeóstatos ver "La Homeóstasis y las Condiciones de Subsistencias en los Sistemas Abiertos", en O. Johansen, "*Sistemas y Organización*", (Santiago, INSORA, 1971), pp. 68-75 y, por supuesto la obra de Ashby, su inventor, citada más arriba.

> como un conjunto de fuerzas que tienden hacia un equilibrio (es decir, a una estructura ordenada), equilibrio que es inestable y por lo tanto irreversible" [19]

6.6. El principio de entropía como elemento desorganizador

Repetimos algunos conceptos de entropía tratados con anterioridad.

Se ha definido a la entropía como la tendencia que tienen todos los sistemas a alcanzar su estado más probable. Este estado más probable es el caos, la desorganización, la eliminación de las diferencias que lo hacen identificable. Esto es fácilmente demostrable en los sistemas cerrados (aquellos que no tienen intercambio de energía con el medio).

¿Qué sucede en los sistemas abiertos (aquellos que transan energía con el medio?). Teóricamente deben tender al caos si es que el estado más probable de estos sistemas es ese. En nuestro caso, dentro de los sistemas abiertos nos interesa el sistema social, es decir, un conjunto de individuos y sus interrelaciones. ¿Cuál es su estado más probable? ¿Es la desorganización?

Hay personas que creen que el estado natural del grupo humano es caos y desorden. Aparentemente, Benjamín Golberg, en su libro "El señor de las Moscas"[20] plantea esta tesis. El argumento de su libro es un grupo de niños, no mayores de 7 u 8 años, que llega a una isla deshabitada (se supone que existe un estado de guerra y estos niños son trasladados a un lugar seguro; durante el viaje aéreo, el avión cae en la isla, quedando como sobrevivientes solamente los niños). Estos se organizan, o tratan de mantener un sistema similar al que vivían hasta hace poco. Todos se conocen porque son del mismo curso de un colegio. Surgen grupos que entran en conflicto y el grupo total va perdiendo "civilización" hata llegar a convertirse en seres salvajes, incluso antropófagos.

Por supuesto, se puede argumentar que todo esto es una ficción. De acuerdo, pero aun así, revela una forma de pensar. Pero también existen argumentos reales. Tómese por ejemplo, el caso de la civilización Maya que por una razón u otra, desapareció llegando a un estado de caos o desorganización.

Observemos a las organizaciones hoy día. ¿No parece ser una ley general que cuando se eliminan o disminuyen los controles, la organiza-

[19]O. Johansen, *op.cit.*, p.86 (el paréntesis no aparece en el original).

[20]Benjamín Golberg, "*El Señor de las Moscas*", (Buenos Aires, Ediciones Minotauro, 1967).

ción entra en crisis (por supuesto, sin que la organización tome medidas para aumentar la motivación, es decir, "*cetteris parribus*"). Hemos observado este fenómeno muchas veces. Lo hemos visto en la sala de clases: cuando el profesor o el inspector desaparecen tiende a surgir el desorden; en las empresas cuyos sistemas de control se deterioran, su conducta cambia y la dirección de este cambio no es, precisamente, hacia un estado de organización más avanzada.

Es fácilmente observable la destrucción de una marcha de protesta (sistema) ante presiones del medio. Generalmente se subdivide en grupos que se diluyen por falta de cohesión. Organizaciones o grupos organizados para acometer cierta tarea, una vez que ha pasado el período inicial, comienzan a rutinarse y a debilitarse para evitarlo); pero en este caso, hemos impuesto un estado al sistema, no lo hemos dejado seguir su tendencia natural.[21]

Un ejemplo de un sistema social que se ve afectado por la entropía y por lo tanto va cambiando a estados cada vez menos organizados, es la región de Valdivia. Antes de la Segunda Guerra, esta ciudad podía considerarse como un sistema social pujante y en desarrollo. Económicamente dominada toda la área entre Temuco y Puerto Montt. Particularmente Corral, su puerto (situado en la desembocadura del río Valdivia) era una pequeña ciudad marítima con un fuerte ímpetu industrial. Los "Altos Hornos de Corral", empresa siderúrgica, eran un motor que impulsaba el desarrollo de la zona.

Al término de la Segunda Guerra Mundial, la ciudad empezó a decaer como centro regional. Fue notoria la reducción que se experimentó en las grandes empresas comerciales que comenzaron a abandonar la ciudad reduciendo su presencia física a pequeñas agencias,[22] y a emigrar a otras zonas (Osorno o Concepción). Su industria, (refinería de azúcar, calzado, astilleros, madera, etc.) lentamente fue perdiendo su empuje; unas comenzaron a reducirse, otras simplemente desaparecieron, creando serios problemas de cesantía, económicos y sociales para la región. Un caso patente es el puerto de Corral, que, por un lado, recibió el impacto del decrecimiento económico de la ciudad (se redujo considerablemente el movimiento marítimo) y por el otro, sufrió el cierre de los Altos Hornos, en 1950, para dar paso a Huachipato.

[21]March y Simon, "*Organizations*", (Nueva York, John Wiley Inc., 1956).

[22]Un ejemplo dramático, lo constituyó la Empresa Grace y Cía. (Chile) S.A. Hasta 1940 (más o menos) mantuvo una oficina en la que trabajaban más de 50 empleados. En 1945 ya no empleaba más de 5 personas.

La imagen que se lleva hoy día un turista que conoció a Corral en 1939, por ejemplo, es desoladora. No pasa de ser más que un villorrio muy pintoresco, pero que agoniza. (Si, finalmente, se llevara a la realidad el proyecto del puerto fluvial de Valdivia, literalmente Corral desaparecería del mapa.)

Evidentemente esa región, ese sistema social, ha experimentado una fuerte entropía que va degradando su organización en forma paulatina, y que, si se dejan operar libremente las fuerzas en sus condiciones actuales, no es difícil (ni arriesgado) pronosticar la destrucción del sistema en alguna fecha futura.[23]

6.7. Compatibilización: la neguentropía como elemento Organizador

Se puede observar con claridad que los dos puntos desarrollados previamente aparecen como contradictorios. Mientras en el primero se trata de insinuar la existencia de un principio de organicidad inherente a los sistemas (por lo menos en los sistemas abiertos), en el segundo se concluye en que por efectos de la entropía, todos los sistemas tienden hacia el caos o hacia la desorganización. Sin embargo, a nuestro juicio esta contradicción es más bien aparente que real. Es un hecho que algunos sistemas sociales han sobrevivido por largo tiempo, y si se les examina en la actualidad, no dan muestras de ir hacia el caos o el desorden. Ejemplos tenemos varios: La Iglesia Católica; el parlamento británico, grandes empresas norteamericanas como Dupont, General Motors, Ford, Standard Oil Co., etc. En nuestro país tenemos a CAP, ENAP, ENDESA, etcétera.

Si observamos la historia, aparecería que efectivamente existe una tendencia hacia la organización creciente. Sin embargo, también es un

[23]Siguiendo esta línea de pensamiento, uno puede, desde el punto de vista organizacional, plantearse el problema de si la destrucción de los imperios que cada vez tienden a desmenuzarse en un sinnúmero de pequeños estados inuependientes (Africa, por ejemplo) no representa un efecto de entropía a nivel de todo el mundo. Esta tendencia lleva a una complejidad tal que hace cada vez mayor el problema de la organización a nivel mundial. En otras palabras, si tomamos al mundo como nuestro sistema social, aparentemente esta tendencia —desde el punto de vista de la organización— a la proliferación de los países a costa de la desintegración de los países "subsistemas" (el imperio británico, el sistema colonial francés, holandés y portugués, por ejemplo) quizás sea la resultante de la entropía que genera el sistema y que lo lleva a su desorganización y caos. (El problema de organización crece como lo demuestra la acción cada vez más dificultosa de las Naciones Unidas para mantener el orden en esta tierra.

hecho que algunos sistemas sociales han desaparecido. Algunos ejemplos podrían ser la Compañía de las Indias Españolas; los grandes "trusts" norteamericanos; etc. En nuestro país podemos mencionar la radio, "El Mercurio", etcétera.

Nuestro argumento aquí es que esta contradicción se soluciona a través de la neguentropía, o entropía negativa, como lo indicábamos en el capítulo anterior.

Todos los sistemas abiertos interactúan en su medio. Importan energía, transforman esa energía en un bien o en un servicio y luego lo exportan al medio, asegurando su supervivencia.

Sin embargo, en la medida que el sistema es capaz de no utilizar toda la energía que importa del medio en el proceso de transformación, está ahorrando o acumulando un excedente de energía que es la neguentropía y que puede ser destinada a mantener o mejorar la organización del sistema.

En otras palabras, el sistema social está en condiciones, o presenta las características apropiadas para poder sobrevivir. De la forma que un sistema abierto utilice esas condiciones (la neguentropía) dependerá su subsistencia.

Hemos señalado anteriormente que la entropía tiende a desordenar el sistema lo que, a nuestro juicio, es real. Sin embargo, el sistema a través de la neguentropía puede combatir y superar esa tendencia. Por ejemplo, existen ya en las grandes empresas unidades administrativas que generalmente se denominan "Auditoría Organizacional", cuya misión concreta es revisar constantemente la organización y su estructura para introducir las modificaciones necesarias para el normal desarrollo de la empresa. Estas unidades son entonces, típicamente una fuerza de neguentropía. Todos los recursos que las organizaciones destinan a la mantención de sus participantes (es decir, el esfuerzo destinado a lograr que los participantes del sistema permanezcan dentro de él, fisiológica y sicológicamente, cumpliendo sus funciones) también es neguentropía. La energía empleada en las relaciones con su medio (gobiernos, clientes, proveedores) también son esfuerzos que hace la organización para contrarrestar a la entropía que la afecta. En general, todos aquellos recursos que se utilizan para funciones ajenas al proceso de transformación mismo pueden considerarse como el excedente de energía (una vez que los requerimientos de transformación han sido satisfechos) ya que se destinan a combatir la entropía.

Sin embargo, esta generación de neguentropía puede a su vez generar entropía. Es decir, cuando un sistema se extralimita en las medidas que toma para combatir la entropía, puede en sí estar creando condiciones para la aparición de más entropía. Tal parecería haber sido el caso de una empresa cuprífera nacional, hace algunos años atrás con su programa de entrenamiento. Sin duda que los programas de capacitación y de entrenamiento ayudan a la mantención de la organización. No sólo hacen más productivas a las personas que forman el sistema, sino que también tienden a cohesionarlos más, a "adoctrinarlos" en relación a los objetivos económicos y sociales del sistema, etc. Sin embargo, parece que "El Teniente" exageró esta actividad, logrando una relación entre horas de entrenamiento y horas de trabajo bastante elevada. Podemos decir que el exceso de energía (o neguentropía) utilizado para ese objetivo, no sólo ha sido una pérdida, sino que también hay que considerar los efectos negativos que produce el sobreentrenamiento en el desarrollo de las actividades (ausentimo obligado, elevación de los niveles de aspiraciones, posibles frustraciones derivadas de la incapacidad de aplicar algunas herramientas aprendidas, etc.) como una fuerza de entropía.

En general podemos estimar la neguentropía como la energía necesaria que requiere el principio de la organicidad para desarrollarse. En otras palabras, el principio de organicidad establece las condiciones necesarias para el orden. La neguentropía es la fuerza necesaria para hacer operar ese principio. Un sistema social que desee sobrevivir debe conscientemente, crear dos tipos de energía a través de sus mecanismos de importación del medio: la energía necesaria para el proceso de transformación o conversión, y la energía necesaria para mentener y mejorar su organización interna y sus relaciones con el medio dentro del cual se conduce.

En conclusión, los sistemas abiertos (sistemas vivos en general), como todo sistema, tienden a desorganizarse como efecto de las fuerzas entrópicas que los atacan. Sin embargo, poseen mecanismos potenciales que buscan su supervivencia. Ahora bien, la supervivencia de estos sistemas parece encontrarse en su capacidad de organización o de mantenerse organizados frente a los cambios y fuerzas negativas del medio. Esto es lo que podemos denominar el "principio de organicidad".

Sin embargo, para que estos mecanismos puedan operar, es necesario proveerlos de energía. El sistema debe generar un exceso de energía sobre aquella destinada a su proceso de transformación característico.

Esa energía es la que denominamos "neguentropía" o "entropía negativa". Por lo tanto, el principio de organicidad operará en la medida que el sistema sea capaz de generar este exceso de energía.

La conclusión que podemos derivar es que los sistemas abiertos, aunque poseen una característica que los lleva a organizarse y, por lo tanto, a la supervivencia, operarán en forma inconsciente (automáticamente) o consciente (acción planificada) siempre y cuando exista la energía suficiente para que los mecanismos naturales o artificiales que conducen a la autoorganización del sistema puedan actuar. Un sistema rodeado de un medio abundante en energía, normalmente se desarrolla y crece. Cuando comienza a escasear esa energía, entonces el sistema empieza a languidecer y, si esto continúa por cierto tiempo, principia a desintegrarse, perdiendo organización lo que finalmente lo conduce al caos, a la destrucción y a su desaparición.

CAPITULO 7

Subsistemas de control

En el capítulo anterior observamos que los sistemas vivos en general, poseen una característica que los lleva no sólo a permanecer (o sobrevivir) sino a crecer y expandirse. Es lo que hemos denominado el principio de la organización.

Ahora bien, para poder llevar a cabo esta función (aparte de aquellas que caracterizan al sistema) es indispensable que se desarrolle una capacidad de adaptación con el medio o entorno que rodea al sistema, es decir, que lleguen a poseer los mecanismos necesarios para modificar su conducta a medida que las exigencias del medio lo requieran.

Esto significa que el sistema debe estar capacitado para observar ese medio, para estudiar su conducta en relación a él e informarse de los resultados y consecuencias de esa conducta para la existencia y la vida futura del sistema. En otras palabras, debe *controlar* su conducta, con el fin de regularla de un modo conveniente para su supervivencia. Esto nos conduce de lleno a examinar la conducta especial de los sistemas: su autocontrol y los mecanismos o comportamientos diseñados para llevar a cabo esta actividad.

De hecho, entramos en el campo de la Cibernética, siguiendo la definición y el concepto que a este campo de estudios le asigna N. Wiener,[1] especialmente en lo que ya hemos denominado "retroalimentación negativa".

[1]N. Wiener, "Cybernetics", (Boston, MIT Press, 1961).

7.1. *La retroalimentación negativa y sistema de control*

Hemos señalado que en general los sistemas tienden a mantenerse en equilibrio, sea estadístico u homeostático (estado permanente) y que actúan sobre ellos dos fuerzas: una que trata de impedir los cambios bruscos y otra que impulsa al sistema a cambiar, pero en forma lenta y evolutiva.

Por otra parte, cuando hablábamos de la comunicación de retroalimentación en el capítulo anterior, señalábamos que este tipo especial de información tendía a mantener al sistema dentro del programa o plan que éste se había fijado para alcanzar su objetivo. En otras palabras, cuando el sistema se desvía de su camino, la información de retroalimentación advierte este cambio a los centros decisionales del sistema y éstos toman las medidas necesarias para iniciar acciones correctivas que deben hacer retornar al sistema a su camino original. Cuando la información de retroalimentación es utilizada en este sentido, decimos que la *comunicación de retroalimentación es negativa* (o simplemente retroalimentación negativa).

Si recordamos nuestra caminata a ciegas por el pasillo, podemos observar que los pasos correctivos que seguían a la comunicación de retroalimentación (el golpe del bastón contra la muralla izquierda) eran opuestos al movimiento original que nos conducía hacia la pared. Como nos acercábamos peligrosamente hacia la pared izquierda, debido a que la dirección de nuestra caminata se inclinaba en ese sentido, la acción correctiva hacía cambiar nuestra dirección ligeramente hacia la derecha. Si la "corrección" fuera lo contrario, entonces sólo estaríamos apoyando a la dirección inicial y tendríamos ahora una comunicación de *retroalimentación positiva*, que nos llevaría rápidamente a chocar contra la pared. (Sobre este tipo particular de comunicación de retroalimentación nos extenderemos en el punto siguiente).

En general, para su control apropiado, la comunicación de retroalimentación debe ser siempre negativa.

La figura 7.1 ilustra cómo la función de retroalimentación negativa se agrega a la función de conversión a través de la corriente de entrada para producir una corriente de salida modificada.

En este caso observemos que parte de la corriente de salida retroalimenta a la corriente de entrada. El rectángulo inferior [F (y)] determina cuánto y en qué forma será retroalimentada la corriente de salida.

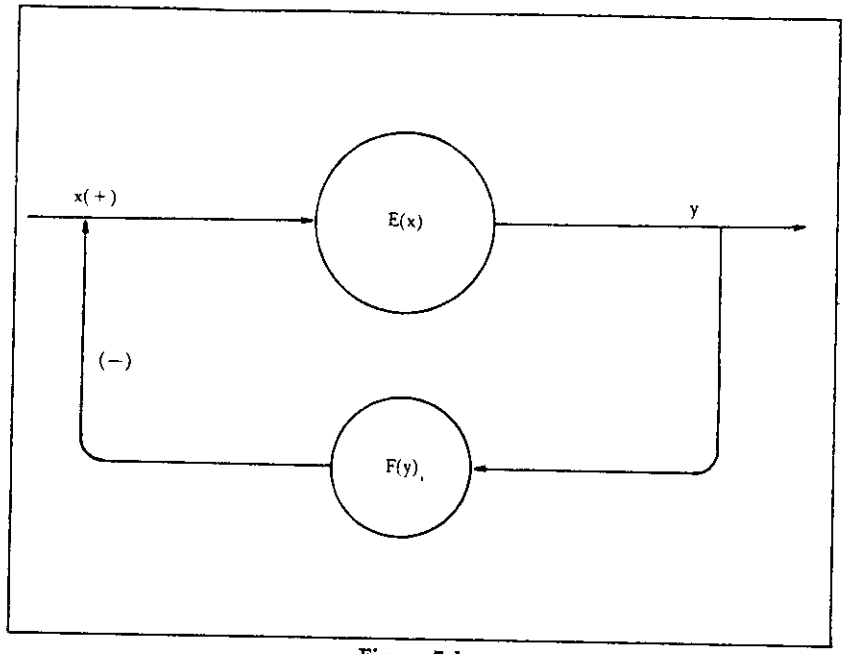

Figura 7.1

La corriente de entrada (x) se encuentra representada por una flecha con sentido positivo, mientras que la retroalimentación está indicada por una flecha negativa. En este caso, la corriente de entrada es reducida por la cantidad de retroalimentación negativa y el efecto sobre la corriente de salida será limitarla o modificarla.

x = Corriente de entrada
y = Corriente de salida
$F(x)$ = Función de conversión de la corriente de entrada
$F(Y)$ = Función de conversión de la corriente de salida originada por la información de retroalimentación.

Generalmente un sistema con retroalimentación es frecuentemente denominado *sistema con circuito cerrado.*[1]

Un buen ejemplo de este sistema de control a través de comunicación de retroalimentación negativa es la conducta de un automóvil. Supongamos que viajamos de Santiago a Valparaíso, y decidimos cruzar la recta de Casablanca a una velocidad de 100 km/hr. Este es nuestro ob-

[1]Nótese que esta idea de sistema con circuito cerrado equivale a la idea de sistema cerrado de Forrester. Ver capítulo 2.

jetivo. En este caso, la corriente de entrada (x) será la presión que ejerce nuestro pie en el acelerador. La función de conversión [$F(x)$] será el motor, especialmente aquellos subsistemas que se relacionan con la velocidad del vehículo. La corriente de salida (y) será justamente la velocidad. El marca-kilómetros, al indicar nuestra velocidad (es decir, al medir la corriente de salida) actúa como comunicación de retroalimentación, la que es captada por nuestro aparato sensor: la vista. Supongamos que el marca-kilómetros indica 100 km/hr. Entonces esta información captada por nuestra vista va al cerebro donde sufre una conversión [F y)] y del cerebro sale una orden dirigida al pie que tenemos en el acelerador cuyo efecto será corregir la presión que éste ejerce sobre ese pedal. Así, a la presión inicial que constituía la corriente de entrada (x), la retroalimentación aplica una nueva presión (esta vez negativa) cuya suma algebraica da como resultado una menor presión, es decir, una cantidad de energía como corriente de entrada. Indudablemente que, ante un cambio en la corriente de entrada, la corriente de salida también sufre un cambio: la velocidad disminuye. Si ahora llega a 100, que es nuestro objetivo, la comunicación de retroalimentación se hace igual a 0. Esto significa que vamos bien encaminados. Toda esta operación será repetida cuando nuevamente recibamos una comunicación de retroalimentación que indique una nueva diferencia.

Todo este mecanismo constituye lo que se ha dado en denominar "sistemas (o subsistemas) de control" y, el esquema presentado en la figura 5.3 lo describe gráficamente.

Generalizando lo dicho hasta aquí podemos distinguir varios aspectos o partes que constituyen un sistema de control. Ellos son:

a) *Una variable:* que es el elemento (o programa de objetivo) que se desea controlar. En nuestro caso la variable la constituye la velocidad a que avanza el automóvil.
b) *Mecanismos sensores:* que son sensibles para medir las variaciones o los cambios de la variable. En el caso presentado estos mecanismos sensores son el marca-kilómetros, nuestra vista y las funciones interpretativas de nuestro cerebro.
c) *Medios motores:* a través de los cuales se pueden desarrollar las acciones correctivas. En nuestro caso ellos son las neuronas y el sistema muscular que mueve el pie para una mayor o menor presión.
d) *Fuente de energía:* que entrega la energía necesaria para cualquier tipo de actividad. Por ejemplo la energía almacenada de nuestro cuerpo para poder llevar a cabo el movimiento del pie sobre el pedal. También debemos considerar la fuente de energía que mueve al motor.
e) *Retroalimentación:* mediante la cual, a través de la comunicación del estado de la variable por los sensores, se logran llevar a cabo las acciones correctivas. En el caso del automovilista, éstas son las decisiones del cerebro, una vez que recibe la información (de retroalimentación) proporcionada por el marca kilómetros y transmitidas por la vista y los nervios correspondientes.

Estos cinco elementos se encuentran en cualquier sistema de control, ya sea de la presión de la sangre, la temperatura de un cuarto, de un proceso industrial o de la conducta de individuos, grupos o comunidades. Desafortunadamente no siempre es posible identificar con facilidad las partes específicas del sistema a que corresponde cada una de estas actividades.

Otra característica de este sistema de control basado en la comunicación de retroalimentación negativa es que sus elementos (los cinco recién señalados) deben ser lo suficientemente sensitivos y rápidos como para satisfacer los requisitos específicos para cada función o elementos de control. Así, si nuestra caminata "a ciegas" la realizamos con una velocidad baja, es bien probable que logremos pasar la prueba con éxito, ya que estamos dando tiempo suficiente al sistema de control para que actúen sus diferentes partes y se logren llevar a cabo correcciones a tiempo. Sin embargo, si decidimos cruzar el pasillo a la carrera (y siempre a ciegas), por más rápido que movamos el bastón de izquierda a la derecha, con toda seguridad chocaremos varias veces con las paredes. Esto es debido fundamentalmente a que la velocidad con que avanzamos puede ser superior a la velocidad con que el cerebro capta la comunicación de retroalimentación, decide la acción correctiva y, finalmente, hace accionar los medios motores con el fin de revertir la dirección o la conducta.

Podemos observar en nuestro ejemplo del paseo por el pasillo, que este sistema de control encierra una serie de transformaciones o funciones de conversión. El cerebro, en forma activa, inicia las actividades musculares de los pies y manos. La señal producida por el golpe del bastón en la pared produce sonido y señales sensoriales a la mano y el oído, las que se convierten por el cerebro en información importante. El metabolismo de cuerpo energiza toda la operación. En otros sistemas de control de tipo mecánico también existe esta alta serie de transformaciones ya que, muchos de ellos, son réplicas de control cerebral.

A través de este sistema de control, basado en la retroalimentación negativa, los sistemas tienden a mantener una conducta relativamente estable,

ya que este mecanismo está constantemente vigilando el comportamiento del sistema y tomando las medidas necesarias para que se mantenga dentro de los límites deseados. En otras palabras, se trata que la variable (nuestro elemento controlado) esté oscilando siempre dentro de los valores o estados permitidos. Mientras el sistema se mantenga dentro de esos estados, no se tomarán acciones correctivas. Estas sólo aparecerán cuando la variable cruce y salga de los límites impuestos.

Estas ideas del control por retroalimentación negativa han dado origen a numerosos sistemas de control "por excepción" dentro de los sistemas sociales industriales. La idea central es dejar en libertad a los niveles operacionales para determinar la variable y sólo tomar acción (a niveles superiores) cuando se informa que la variable ha salido de sus valores permitidos y, lo que constituye una excepción, cuando el nivel operacional particular no posee los recursos necesarios (por ejemplo, capacidad decisional) para solucionar el problema. Este sistema, a diferencia de otros más tradicionales en que los valores arrojados por la comunicación de retroalimentación son discutidos por aquellos niveles superiores del sistema, permite una mayor descentralización de las operaciones y libera a los niveles decisionales de trabajos de rutina. Ellos sólo entran en acción cuando es necesario, es decir, cuando el control de la variable ha escapado de las manos de los niveles operacionales directamente responsables de ella.

Veamos ahora la aplicación de la comunicación de retroalimentación positiva, tema del próximo punto. Sin embargo, antes de seguir adelante conviene hacer una aclaración. En realidad la comunicación de retroalimentación es sólo una. El carácter de positivo o negativo está dado por el tipo de acción que tome el cerebro del individuo, en el caso de la caminata "a ciegas" o los centros decisionales de los sistemas sociales.

En general podemos señalar que, cuando se modifica la conducta del sistema y se dejan constantes los objetivos, nos encontramos ante la retroalimentación negativa. Cuando se mantiene la conducta del sistema y se modifican los objetivos entonces nos encontramos frente a una retroalimentación positiva.

7.2. *Retroalimentación positiva*

En el capítulo 2 ya nos habíamos referido a la información de retroalimentación utilizada en un sentido positivo. En efecto, cuando la acción sigue a la recepción de la comunicación de retroalimentación, va dirigida a apoyar la dirección o el comportamiento inicial, tenemos

una "retroalimentación positiva". O, en otras palabras, como lo indicábamos anteriormente, cuando mantenemos constante la acción y modificamos los objetivos, estamos utilizando la retroalimentación en un sentido positivo.

Supongamos, por ejemplo, que nuestra empresa siderúrgica diseña un programa de trabajo, para producir 3.000 toneladas de planchas de acero por semana y al cabo de la primera semana se retroinforma a la gerencia de operaciones que la producción real fue de 3.500 toneladas. Esta gerencia decide entonces modificar su objetivo y lo lleva ahora a 3.500 toneladas por semana. Las cosas se mantienen así por un mes. Pero en la sexta semana la producción semanal vuelve a subir, esta vez a 3.700 ton. Nuevamente, la gerencia modifica sus objetivos y fija esta nueva cifra como meta semanal. La conducta que sigue esa gerencia de operaciones es de apoyar las acciones o las corrientes de entrada del sistema, de modo de aumentar siempre la producción. Es decir, aplica una retroalimentación positiva. Pero, si al comienzo del segundo mes de operaciones, la producción semanal cae de las 3.700 ton. fijadas a 3.500, siguiendo su conducta, la gerencia fija esta nueva tasa semanal. Y así sigue modificando constantemente la meta.

La figura 7.2 muestra la tendencia que ha seguido la producción semana tras semana:

Se puede observar a través de la figura 7.2, que el resultado al cabo de 14 semanas de operación de la planta siderúrgica aplicando una retroalimentación positiva, es una conducta oscilatoria de la variable (producción de planchas), situación que no permite un control efectivo.

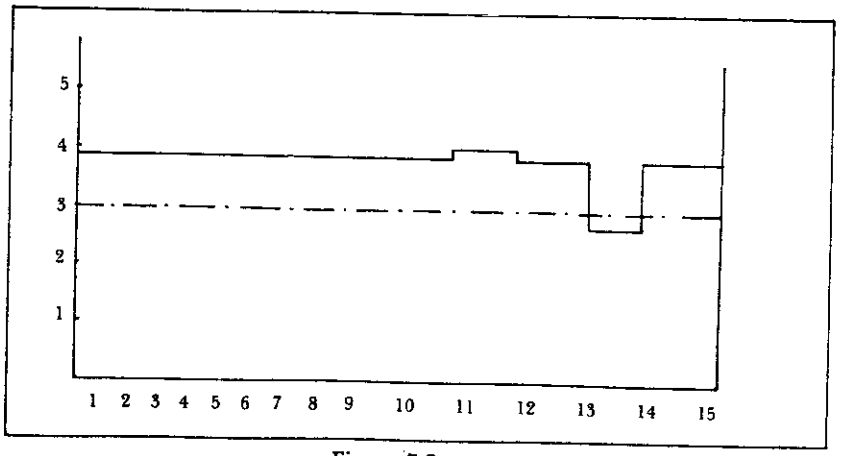

Figura 7.2

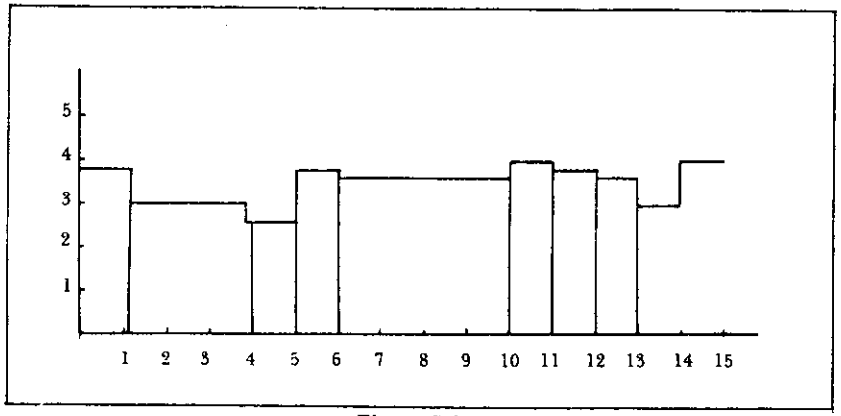

Figura 7.3

Diferente habría sido el comportamiento de la variable si se hubiera aplicado la retroalimentación en forma negativa. La figura 7.3 muestra cual podría haber sido la conducta de la variable, en este caso. También existe oscilación pero no con la intensidad que se indica en la figura 7.2. Como se puede apreciar, el alza de 3.000 a 3.500 ton. durante la primera semana fue rápidamente corregida mediante acciones de retroalimentación negativa. Las fluctuaciones producidas en la 5a. y 6a. semana también fueron finalmente estabilizadas manteniéndose el objetivo de 3.000 ton. semanales. Aparentemente entre las semana 11 a 13 hubo problemas que finalmente fueron superados. En general, la variable estuvo siempre bajo control no siendo éste el caso de la situación indicada en la figura 7.2

Tratándose de la retroalimentación positiva el control es prácticamente imposible, ya que no disponemos de estándares de comparación, pues los objetivos fijados al comienzo prácticamente no son tomados en cuenta, debido a su continua variación. Como la conducta de la variable es errática, es difícil planear las actividades y coordinarlas con otras. Por ejemplo, la gerencia de ventas, sobre la base de 3.000 ton. semanales ha confeccionado su programa de ventas y de despacho. De acuerdo con el resultado que se muestra en la figura 7.2 evidentemente ha sido incapaz de despachar toda la producción (en efecto, si el programa de ventas ha sido despachar 3.000 ton. semanales, al cabo de la 5a. semana ha despachado 15.000 ton. en circunstancias que la producción ha alcanzado 18.500 ton.) por lo tanto se ha ido acumulando inventario (hasta alcanzarse 3.500 ton. al final de la 5a. semana). Más adelante la cosa se empeora, ya que la producción semanal aumenta a 3.700. Es probable que ventas cambie sus programas de despachos. Si esto es así, al comienzo de la 8a. semana tendrá problemas, los que se empeorarán entre la 10a. y 12a. semanas. Definitivamente, en estas circunstancias la retroalimentación positiva tiende a eliminar todo esfuerzo de programación y de planificación.

En nuestro ejemplo, la retroalimentación positiva ha producido una conducta fluctuante de la variable. En otros casos puede producir efectos de amplificación que alejan constantemente al sistema de algún punto de equilibrio haciéndolo totalmente inestable. Tal es el caso, por ejemplo, del famoso teorema de la "tela de araña" de los economistas.

La conducta humana muchas veces se ve influida por la retroalimentación positiva. Se dice que un profesor hace buenas o malas clases, de acuerdo con su audiencia. En efecto, cuando un profesor encuentra que su audiencia es motivante, él se motiva generalmete elevando la calidad de su enseñanza, especialmente en la presentación de su materia. Esto hace que la audiencia se motive más, información que es retroalimentada hacia el profesor quien le pone más empeño y así sigue la cadena. Por el contrario, cuando el profesor encuentra que su audiencia no lo motiva, generalmente comienza a perder interés en la clase, lo que repercute en sus alumnos, los que se motivan menos y así continúa el curso, que puede terminar súbitamente por el abandono del profesor o de la mayoría (o todos) sus alumnos.

En ambos casos el profesor, consciente o inconscientemente ha actuado sobre la base de una retroalimentación positiva.

También se puede observar una conducta similar en un candidato a una elección, cuando se enfrenta y habla en una manifestación. El busca la reacción de su auditorio a través de alguna forma de retroalimentación. Cuando la respuesta es de apoyo (retroalimentación positiva) él se dejará llevar por sus impulsos, mientras que si recibe una retroalimentación negativa, es probable que se conduzca con mayor cautela, si es que desea decir lo que tiene planeado.

7.3. Sistemas desviación-amplificación

Existen, sin embargo, sistemas cuyo efecto o comportamiento es típico de desviación y de amplificación, es decir, encierran procesos de relaciones causales mutuas que amplifican un efecto inicial que puede ser insignificante y casual, producen una desviación y divergen de la condición inicial. Ejemplos de estos sistemas son la acumulación de capital en la industria, la evolución de un organismo vivo, conflictos interna-

cionales y aquellos procesos denominados "círculo vicioso" e "interés compuesto".

Estos procesos parecen ser opuestos a aquellos en que la desviación es corregida y se mantienen en equilibrio. Pero ambos tienen una característica esencial en común. Los elementos del sistema se influencian entre sí ya sea en forma simultánea o alternativa. La diferencia está en que los sistemas desviación—corrección poseen una *retroalimentación negativa* entre sus elementos mientras que los sistemas desviación-amplificación poseen una *retroalimentación positiva*. Maruyama[2] denomina a los primeros sistemas (los de retroalimentación negativa) "morfostasis" y a los segundos (con retroalimentación positiva) "morfogénesis".

Un ejemplo de la acción de ambos conceptos podemos encontrarlo en el campo de la economía. Por muchos años, algunos economistas han predicado que era inútil elevar el nivel de vida de las clases pobres, porque si el ingreso de la población de esta clase aumentaba, ellos tendrían más hijos y así reducirían su nivel de vida, volviendo a su estado natural: los pobres permanecen pobres y los ricos permanecen ricos. Este es un modelo morfostático de desviación-corrección mutua entre el nivel del ingreso y el número de hijos. Este modelo teórico condujo a los políticos hacia el laisser-faire. Por otra parte, también se reconocía que mientras más capital existiese, más rápida sería la tasa de su aumento. En otras palabras, los pobres se hacían más pobres y los ricos más ricos. Este era un modelo morfogénico de desviación-amplificación.

Podemos encontrar el mismo principio de desviación-amplificación operando en la naturaleza. Por ejemplo, una pequeña grieta en una roca acumula agua. El agua se hiela, lo que hace crecer la grieta. Una grieta mayor acumula más agua, lo que hace mayor la grieta. Una cantidad suficiente de agua hace posible que algunos organismos pequeños vivan allí. La acumulación de materia orgánica hace posible a su vez, que comience a crecer un árbol en la grieta. Las raíces del árbol aumentan el tamaño de la grieta.

El mismo principio puede explicar el desarrollo de una ciudad en un medio agrícola. Al comienzo la llanura es totalmente homogénea y con potencial agrícola. Por alguna razón un agricultor ambicioso levanta una granja en una parte de esa llanura. Este es el impulso inicial. Siguiendo el ejemplo del pionero, se establecen otros granjeros. Uno de

[2]M. Maruyama, "The Second Cybernetics: Desviation-Amplifling Mutual Causal Processes", *American Scientist* 51, (1963), 164, 179.

éstos abre un almacén de herramientas. Posteriormente este almacén se transforma en el centro de reunión de los granjeros. Más tarde se instala a su lado un almacén de comestibles. Gradualmente la aldea crece y facilita la comercialización de los productos agrícolas. Esto hace que aparezcan más granjas alrededor de la aldea. El aumento de las actividades agrícolas necesariamente conduce al desarrollo industrial y la aldea se transforma en una ciudad.

De este caso podemos extraer importantes conclusiones teóricas.

En un comienzo la llanura era homogénea, y el lugar en que se formará o nacerá la aldea (y posteriormente la ciudad) dependerá del lugar donde quizá, accidentalmente, ocurre el primer impulso. El pionero pudo haber escogido cualquier punto. Pero una vez que selecciona, la ciudad emergerá de ese lugar y la llanura será heterogénea. El secreto del crecimiento de la ciudad se encuentra en el proceso de desviación-amplificación mutua con una red de retroalimentación positiva y no en la condición inicial.

Una sagrada ley de la causalidad en la filosofía clásica establecía que condiciones similares producen efectos similares. En consecuencia, resultados disímiles eran atribuidos a condiciones disímiles. Así, cuando un investigador trata de encontrar la razón de por qué dos personas son diferentes, busca la diferencia en su medio y en la herencia. No se le ocurre que quizá ni el medio ni la herencia tienen que ver con esa diferencia. Pasa por alto la posibilidad de que algún proceso interaccional de desviación-amplificación en su personalidad y en su medio pueda haber producido esa diferencia. A la luz de los modelos de morfogénesis es posible que condiciones similares pueden resultar en un producto diferente. Maruyama define esta nueva ley de causalidad como sigue: "una pequeña desviación inicial, que se encuentra dentro del rango de una alta probabilidad, puede desarrollarse en una desviación de una probabilidad muy baja o, más precisamente, en una desviación que es muy improbable desde el punto de vista de la causalidad probabilística unidireccional".

Examinemos ahora en forma más detallada qué es lo que entendemos por redes de retroalimentación positiva y negativa. Indiquemos, primero, que la presencia de influencias en ambas direcciones no necesariamente implica causalidad mutua. Si el tamaño de la influencia en una dirección es independiente del tamaño de la influencia en la otra dirección, o su correlación aparente es causada por un tercer elemento, entonces no existe causalidad mutua. Sólo existe causalidad mutua cuando el tamaño de la influencia en una dirección tiene un efecto

sobre el tamaño de la influencia en la otra dirección y es, a su vez, afectada por ella.

Por ejemplo, la empresa A es una siderúrgica que transforma el mineral de fierro en acero. La empresa B es fabricante de herramientas de acero. Esta compra acero a la siderúrgica, la cual, a su vez, le compra herramientas. Existen algunas relaciones mutuas entre ambas empresas.

Supongamos ahora que los fabricantes de herramientas compran acero a varias siderúrgicas. Cuando la producción de A baja, las compras de acero que B hace a las otras siderúrgicas suben, y lo contrario sucede cuando la producción de A sube. La cantidad de herramientas que B puede entregar a A no depende de la cantidad de acero que A vende a B. En este caso, aun cuando existe un tráfico de bienes en ambas direcciones entre A y B, éste no tiene la característica de relaciones mutuas.

Aun a riesgo de repetirnos, queremos volver al lector al ejemplo que presentamos en el capítulo 2, al discutir el concepto de sinergia. Nos referimos al juego de interacciones que ha mostrado Maruyama. Este ejemplo ilustra muy bien el comportamiento de las relaciones causales mutuas y de él se pueden deducir importantes conclusiones.

Recordará el lector que el problema planteado por Maruyama era el problema del número de personas de una ciudad (o población) en relación con la modernización. En este caso las relaciones causales mutuas pueden ser definidas por más de dos elementos (a diferencia de los ejemplos anteriores). Repitamos las relaciones de Maruyama, las que se encuentran en la figura 7.4.

Las flechas indican la dirección de la influencia. El signo (+) indica que el cambio ocurre en la misma dirección, pero no necesariamente positivo (a más, más; a menos, menos). El signo (-) indica un cambio en la dirección (a más, menos y a menos, más). Como se puede apreciar, algunas flechas forman circuitos. Existe un circuito entre *P* a *M*, *M* a *C* y *C* a *M*. Un circuito indica relaciones mutuas. En un circuito, la influencia de un elemento vuelve al mismo a través de otros elementos. Por ejemplo, el circuito *P-M-C-P*, un incremento en el número de personas causa un incremento en modernización, lo que a su vez aumenta la migración hacia la ciudad, lo que aumenta la población de ésta.

En resumen, el incremento de la población causa un nuevo incremento a través de la modernización y la migración. Por otra parte un descenso de la población causa decrecimiento en la tasa de modernización, lo

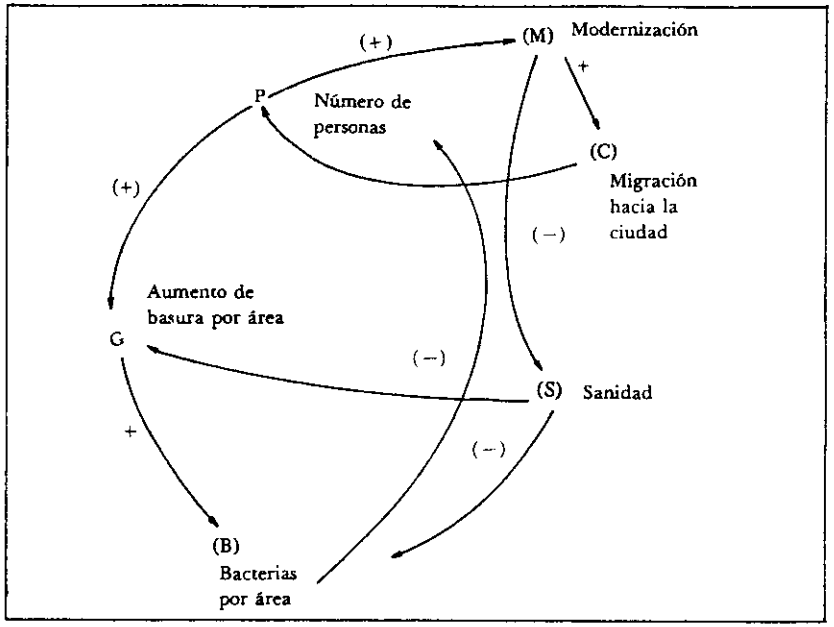

Figura 7.4

que a su vez origina una emigración (o un decrecimiento de la migración). Cualquiera sea la dirección del cambio, éste se amplifica. Pero lo mismo es válido si tomamos como criterio la modernización: un aumento de la modernización causa un mayor incremento en ella a través de la migración y el aumento de población.

Por lo tanto, en un circuito cada elemento tiene una influencia en todos los demás, ya sea directa o indirectamente y cada uno se autoinfluencia a través de los otros elementos. No existe una causalidad jerárquica o prioritaria en ninguno de ellos. Es en este sentido que entendemos las relaciones causales mutuas.

Tomemos el circuito siguiente: *P-G-B-P*. Este circuito contiene una influencia negativa desde *B* a *P*. Un aumento en la población causa un incremento en la cantidad de desperdicio o basura por área, lo que a su vez hace aumentar el número de bacterias por área, conduciendo a un incremento en las enfermedades, lo que produce una disminución de la población. En resumen, un aumento en la población causa posteriormente su propio decrecimiento a través de los desperdicios, las bacterias y las enfermedades. Por el contrario, un decrecimiento en la población causa, a través de los mismos elementos pero con signo

contratrio, un aumento de ella. Por lo tanto, en este circuito cualquier cambio que sufre la población es equilibrado por él. Existe una contracción. Lo mismo sucede para cada elemento del circuito. La relación de causalidad mutua en este circuito es una relación de desviación-corrección. Tal proceso puede resultar en estabilización o en oscilación dependiendo del espacio de tiempo envuelto en la contracción y en el tamaño de ésta.

Finalmente examinemos el circuito P-M-S-B-P. Este circuito posee dos influencias negativas. Un incremento en la población causa un aumento en la modernización, lo que a su vez causa un aumento en las facilidades sanitarias. Esto hace disminuir el número de bacterias por área lo que conduce a una disminución de las enfermedades y, por consiguiente, un aumento en la población.

Este circuito es, por lo tanto, desviación-amplificación. Las dos influencias negativas se eliminan (menos × menos da más) y el efecto final es positivo.

En general, un circuito con un número par de influencias negativas es un circuito desviación-amplificación, mientras que un circuito con un número impar de influencias negativas es de desviación-corrección.

El sistema mostrado en la figura 7.2 contiene varios circuitos, algunos del tipo desviación-amplificación y otros del tipo desviación-corrección. Dependiendo de la fuerza de cada circuito, el sistema en su totalidad será desviación-corrección o desviación-amplificación.

Bajo ciertas circunstancias un circuito desviación- amplificación puede transformarse en uno de desviación-corrección. Un ejemplo es el principio de la utilidad decreciente. Un incremento en las inversiones causa un incremento en el capital y esto a su vez hace posible una mayor inversión. Antes que la utilidad alcance ciertos efectos, los efectos de los impuestos a los ingresos son negligibles. Pero cuando las utilidades aumentan y se hacen mayores, la influencia del impuesto a los ingresos se hace mayor y, eventualmente, estabiliza el tamaño del capital. En este caso la economía se desarrolla a partir del proceso de morfogénesis, hasta alcanzar un equilibrio cuando los elementos o componentes desviación-corrección se hacen predominantes.

Muruyama[5] ha denominado al estudio de las relaciones causales mutuas de desviación-amplificación la "segunda cibernética", en contra-

[5] *Ibid.* pág. 164.

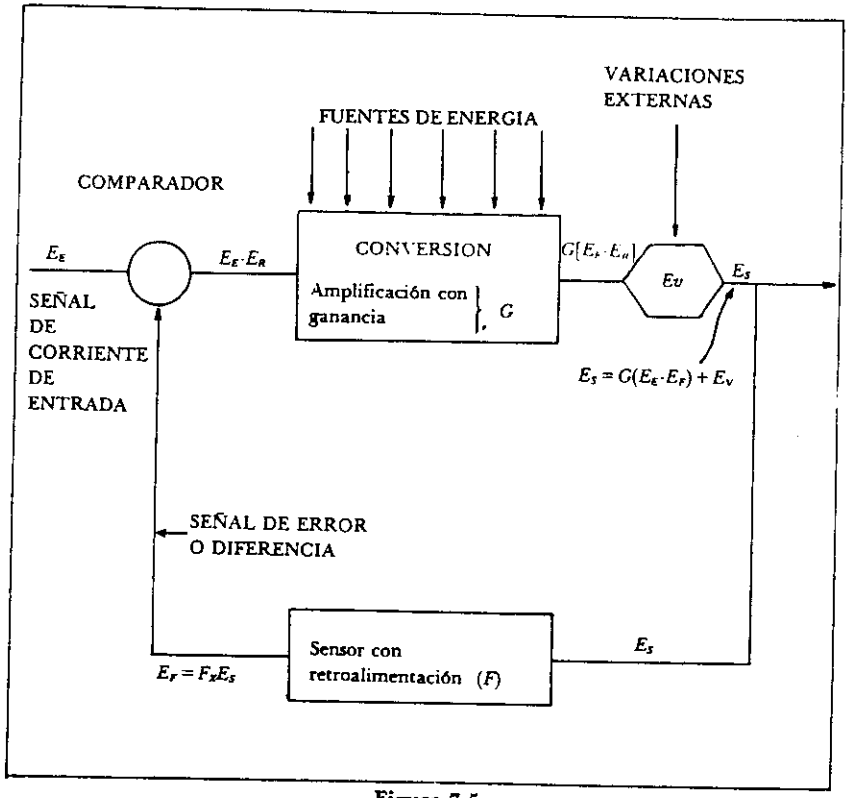

Figura 7.5

posición a la cibernética (o primera cibernética) que ha centrado su campo de interés y de acción en el tipo de sistemas desviación-corrección, y este nuevo enfoque científico, una vez más elaborado, puede entregar buenos frutos.

7.4. *Un sistema de circuito cerrado con amplificación*

La figura 7.5 muestra un sistema de circuito cerrado con amplificación. Se entiende aquí por amplificación el hecho de que un pequeño cambio en la corriente de entrada puede hacer entrar en operaciones varias fuentes de energía, y por lo tanto, producir una corriente de salida que puede ser bastante diferente de la corriente de entrada.

Una señal (corriente de entrada) E_E, que puede estar referida a volts y relacionada con temperatura, presión u otra variable, constituye la variable a controlar. El sistema puede estar diseñado para hacer algo que

es proporcional o está determinado por esta variable de control. Si el sistema es un servomecanismo,[6] la corriente de entrada (E_E) puede representar al ángulo de rotación de un motor pequeño y la corriente de salida (E_S), al ángulo de rotación de un motor mayor, siendo el objetivo mantener coordinados ambos motores.

O también E_E puede ser una corriente de entrada expresada en voltajes de un circuito que posee una alta resistencia y bajo poder y que debe ser convertida en un voltaje idéntico en un circuito de baja resistencia para operar un parlante, un selenoide u otro mecanismo que requiere un poder mayor que el que se encuentra disponible al final del circuito de la corriente de entrada. O bien, en el campo de los sistemas sociales, E_E puede ser un programa de publicidad y E_S la recepción de ese programa por toda una comunidad.

La señal E_E puede tener un valor fijo o variar con el tiempo. Alimenta a un elemento comparador, en que E_E es comparada (sumada) con la señal que viene como retroalimentación. Si la señal de la corriente de entrada y la de retroalimentación son iguales (iguales cantidades de corrientes de entrada positiva y retroalimentación negativa se anulan) significa cero error; a la inversa, si ellas no son iguales, una señal con la diferencia alimentará a la función convertidora (amplificadora). La corriente de salida amplificada pasará por una unidad que represente las variaciones no deseables y fuera del control del sistema (E_v) y que pueden modificar el equilibrio. Puede producirse un brusco cambio; por ejemplo, una caída de la temperatura cuando una nueva carga de metal frío es inyectada en un convertidor de acero, o un movimiento brusco del cuerpo que cambia los requisitos de presión sanguínea o, finalmente, un brusco cambio de gustos que afecte al producto en promoción. Al producirse estos cambios actúa automáticamente también el circuio de retroalimentación. La retroalimentación y la corriente de entrada E_E ya no se encuentran en equilibrio y la súbita señal de error que resulta de este desequilibrio hace que el amplificador entre en acción para restablecer ese equilibrio.

En general, podemos resumir las siguientes características de un sistema de control:

1. Un control estable requiere la presencia de la influencia de una retroalimentación negativa.

[6]Un servomecanismo es un sistema de control automático de retroalimentación en que el movimiento de un miembro de la corriente de salida está restringido a seguir estrechamente el movimiento de un miembro de la corriente de entrada y que se incorpora en el poder de amplificación.

2. Control estable de una variable en un punto "fijo" generalmente significa mantener a la variable de modo que no se aleje más allá de ciertos límites aceptables alrededor de ese punto.
3. Para que un control de cualesquiera variable sea efectivo, el sistema de control debe ser diseñado de modo que tenga respuestas que sean adecuadas para la aplicación específica que se hace de él.

CAPITULO 8

La definición de un sistema

En el desarrollo que hemos realizado de la teoría y el enfoque de sistemas, nos hemos referido a los sistemas en general (sistema social, mecánico, humano). En este último capítulo, centraremos nuestra atención específicamente en los sistemas sociales, y más concretamente, en aquéllos cuyo objetivo es proporcionar bienes y/o servicios a la comunidad, es decir, en la empresa.

Nuestro objetivo en este capítulo es discutir la definición o identificación de un sistema desde el punto de vista de un investigador que desea analizarlo.

Supongamos que el investigador se encuentra en condiciones de observar el todo (o sistema total) y tratemos de determinar los pasos que dará para alcanzar el punto desde el cual podrá observar ese todo. Su método, como lo plantea Churchman[1] "consiste en definir cuidadosamente de qué está hablando".

El comienza con el término "sistema" que, como hemos señalado, aunque puede ser definido de muchas maneras, existe un acuerdo general en definirlo como conjunto de partes coordinadas para alcanzar ciertos objetivos. Con el fin de hacer más precisa esta definición, debemos explicar qué es lo que entendemos por "partes coordinadas". Específicamente, el objetivo del investigador de sistemas es definir cuidadosamente y en detalle cuál es el sistema total, el medio en que se

[1]C. West Churchman, "*The Systems Approach*". (N. York, Dell Pub. Co., 1968), p. 29.

encuentra, cuáles son sus objetivos y sus partes y cómo estas partes apoyan el logro de esos objetivos.

Como un método de análisis presentamos el conjunto de pasos que, a nuestro juicio, son las etapas que puede seguir nuestro investigador para alcanzar su objetivo: describir y definir un sistema total. Los pasos son los siguientes:[2]

1. Los objetivos del sistema total;
2. El medio en que vive el sistema;
3. Los recursos del sistema;
4. Los componentes del sistema;
5. La dirección del sistema;

Sin embargo, el lector debe comprender que, en ningún caso, estos pasos deben, forzosamente, tomarse de acuerdo con la secuencia aquí presentada. Más bien, a medida que uno avanza en el análisis y descripción del sistema, es probable que uno deba reexaminar el trabajo realizado en los pasos previos. Este es un proceso lógico y la lógica es esencialmente un proceso de controlar y recontrolar nuestros razonamientos.

Con estas advertencias en mente, discutiremos estas cinco consideraciones básicas que el investigador debe tener presentes cuando se enfrenta con la tarea de definir y describir un sistema.

8.1. Los objetivos del sistema total

Al hablar de los objetivos estamos pensando en la medición de la actuación del sistema total. En general, nos parece lógico comenzar nuestro trabajo definiendo los objetivos, porque frecuentemente se cae en errores y en serios problemas cuando no se tienen claros los verdaderos objetivos del sistema.

Sin embargo, la definición de los objetivos de un sistema total no siempre es tarea fácil. Puede existir confusión en su determinación. Generalmente los participantes del sistema no se preocupan, aun cuando sus objetivos y definiciones puedan tener una serie de propósitos independientes de la actuación del sistema.

[2]El análisis que sigue se basa en gran medida en el enfoque dado a este problema por W. Churchman en su libro citado. Sin embargo, por supuesto, ésta no es la única metodología o forma de enfrentar el problema. Hall, en su libro "*Ingeniería de Sistemas*" presenta un enfoque diferente, lo mismo que otros analistas de sistemas. Nosotros optamos por la metodología de Churchman, por creer que ésta se ajusta en mejor forma al desarrollo previo del libro.

Churchman presenta el siguiente ejemplo. El director de un departamento universitario desea obtener el mayor presupuesto posible para la operación de su unidad. Como consecuencia, debe defender su posición en diferentes comités, comisiones o consejos que forman parte de la estructura de la universidad. En estas ocasiones debe plantear los objetivos del departamento en la forma más atractiva posible, ya que debe buscar el máximo prestigio y el máximo poder "político" con el fin de obtener ese mayor presupuesto. Señalará la importancia de la docencia en ese campo, el valor que tienen para la comunidad los proyectos de investigación que en él se desarrollan, la alta calificación académica que poseen sus integrantes, etc. Estos son algunos de los argumentos que plantea y que menciona como los objetivos del departamento en cuestión. En forma similar, el gerente de una empresa (a través de su departamento de relaciones públicas) o el administrador de una agencia estatal, deben presentar una imagen social a través de los objetivos de esos sistemas. No lo hacen sólo para atraer clientela, sino también para atraer capitales y apoyo del medio. Recuérdese que la aceptación o "legalización" del sistema en el medio es una condición necesaria para su supervivencia.

En general, estas declaraciones de principios son denominadas *objetivos* por los miembros del sistema, pero para nuestros propósitos de investigación y análisis ellas son demasiado vagas y, en muchos casos, equivocadas.

Este tipo de objetivos ha sido denominado por algunos estudiosos como "no operacionales" y equivalen, como señalábamos hace poco, más bien a declaraciones de principios o propósitos que a objetivos concretos sobre los cuales dirigir la conducta del sistema. Si tomamos estos objetivos no operacionales en forma demasiado seria, podemos llegar a errores y equivocaciones en la identificación de los objetivos reales del sistema comparado con aquellos definidos por ese sistema. El director del departamento universitario puede hacernos pensar que el único objetivo de su departamento es la creación de un nuevo conocimiento y la enseñanza de este conocimiento. El gerente de una empresa industrial puede hacernos pensar que el objetivo de su empresa es prestar servicio a la comunidad, sobre la base de alguna utilidad, etcétera.

Ahora bien, estos objetivos no operacionales tampoco pueden dejarse totalmente de lado. En efecto, ellos cumplen una función bastante específica en la empresa o en el sistema social de que se trate: son objetivos

generalmente no conflictivos y, por lo tanto, pasan a ser un mecanismo de cohesión del grupo humano que forma el sistema. ¿Qué investigador de un departamento universitario no va a estar de acuerdo en que él está allí para aumentar el conocimiento en ese campo determinado del saber? ¿Qué ejecutivo medio o alto de una empresa va a estar contra la idea de los "objetivos sociales" de la empresa? Una forma, sugerida por Churchman, en que el investigador puede determinar los objetivos del sistema, es observando si el sistema, a sabiendas, sacrificará otros objetivos con tal de alcanzar aquellos definidos por autoridades del sistema.

Por ejemplo, si una persona señala que el objetivo real de su vida es enseñar y sin embargo, ocasionalmente se encuentra dispuesto a utilizar parte de su tiempo en servicios particulares para elevar su ingreso, entonces el investigador podría señalar que sus objetivos establecidos y publicados no son sus objetivos reales, pues está dispuesto a sacrificarlos, con cierta frecuencia, para alcanzar otros objetivos.

Una falacia muy común al establecer los objetivos es poner énfasis en lo evidente, en lo obvio. Por ejemplo, supongamos una fábrica de calzado. ¿Cuál es su objetivo? Una respuesta sería: fabricar el mejor calzado posible dentro de ciertas limitaciones. Pero el objetivo real no es simplemente calidad, sino aquella calidad que se presta mejor para alcanzar sus objetivos de venta o de utilidad. Cuando el investigador define el resultado deseado y concreto, entonces se puede comprender la importancia que esos objetivos realmente tienen. En algunos casos un mejoramiento de la calidad puede que no compense el costo en que se ha incurrido, es decir, el sacrifico de otros objetivos.

Por supuesto que, así como es difícil definir los verdaderos objetivos de una persona, así también puede serlo determinar los verdaderos objetivos de un sistema. Como personas, generalmente ocultamos nuestros verdaderos objetivos, pues nos parece que pueden no ser satisfactorios desde el punto de vista de otras personas o de la comunidad en que vivimos. Si ellos fueran publicitados, es probable que tuvieramos problemas en obtener los diferentes tipos de apoyos que necesitamos en la vida (empleo, aceptación social, etc.).

El propósito, entonces, del investigador es determinar aquellos objetivos verdaderos y operacionales. Operacionales en el sentido que pueden ser medidos y que a través de esta medición se pueda determinar la calidad de la actuación del sistema, o la forma como está operando éste. El estudiante, generalmente piensa que su objetivo es alcanzar las más altas calificaciones. En este caso la medición de la conducta del sistema es

bastante sencilla. Muchas veces el estudiante busca estas altas calificaciones sacrificando una verdadera comprensión de la materia del curso. Las busca porque cree que con ellas tendrá mejores oportunidades de trabajo o alcanzará una beca para sus estudios superiores. Así, si bien su objetivo establecido es aprender, la medición real de su actuación o comportamiento son las calificaciones.

Churchman de paso hace una afirmación que deberíamos meditar en relación con nuestra enseñanza superior. Algunos educadores norteamericanos sospechan que el verdadero objetivo de ciertas universidades de ese país (o la verdadera medición de su actuación) no está dado en términos de educación, sino del número de estudiantes graduados.

Algunos estudiosos de las organizaciones industriales señalan que se debe hacer una distinción entre los objetivos *reales* y los objetivos *legitimados* del sistema. Estos últimos tienen que ver con la moral o la ética de los objetivos. Por ejemplo, un investigador, siguiendo la filosofía de la teoría de sistemas puede definir los objetivos de un sistema de carreteras en términos de la cantidad de vehículos que pueden pasar a través de segmentos específicos de una de ellas dentro de un período dado de tiempo. Sin embargo, puede que este objetivo no se encuentre "legitimado" desde el punto de vista social, no sólo por el costo de los accidentes, sino por el ruido, por ciertos problemas ecológicos y los inconvenientes que pueden surgir para los pueblos y aldeas por donde dicha carretera pasa (y para quellos que quedan fuera de ella).

Por lo tanto, en esta tarea de describir los objetivos reales del sistema (a través de la medición de su actuación) el investigador debe ser persistente (aunque con ello eventualmente pueda entrar en conflicto con sus colegas o clientes) y estar siempre alerta para no caer en la "falacia de los objetivos evidentes".

Existen ciertos casos en que la no observación de los objetivos del sistema total puede llevar a serios problemas. Un ejemplo más sobre la falacia de lo evidente que, en este caso tiene un sentido trágico-irónico: En el campo de la salud, con la aparición de las vacunas para muchas enfermedades "clásicas", parece evidente que el "sistema de salud" puede eliminar muchos males. Recientemente se han comenzado a tomar medidas para eliminar el sarampión. Podría parecer que la medida de la actuación sería la reducción en el porcentaje de niños que contraen sarampión, posiblemente ponderada por la reducción de la gravedad de los casos. Por otra parte, ciertos estudios han indicado que esta enfermedad tiene resultados fatales en el medio Oriente y en el lejano Oriente. Por lo tanto un éxito del sistema, de acuerdo con la medición re-

ción descrita producirá una reducción en la mortalidad infantil y, en consecuencia, un aumento de la población en las áreas subdesarrolladas.

Aquí se hace evidente el pensamiento del sistema total: quizá sea mejor dejar que la enfermedad lleve a cabo su triste tarea, que permitir la muerte que la explosión demográfica pueda acarrear, especialmente por la escasez de alimentos. Para medir la actuación deben incluirse estos costos, que no serían tomados en cuenta si no se mira el sistema como una totalidad y sólo se estudia uno de sus subsistemas. La observación del sistema como una totalidad (y no a través de una de sus partes) puede permitir encontrar soluciones más integrales al problema o prevenir de alguna forma los "efectos esperados" tan trágicos. Por la medición de la actuación del sistema, el investigador debe buscar todas las consecuencias importantes de las actividades del sistema total bajo estudio. Evidentemente que cometerá errores; sin embargo, su persistencia y su estado alerta pueden minimizar estos errores a través de una conducta de cuidadosa investigación y un espíritu crítico.

8.2. El medio del sistema

Una vez que el investigador ha logrado clasificar los objetivos del sistema (o la medición de su actuación) el aspecto siguiente que debe estudiar y considerar es el medio que lo rodea. Este puede ser definido como aquello que está fuera, que no pertenece al sistema, que se encuentra más allá de sus "fronteras". También puede ser ésta una tarea difícil, pues no siempre es sencillo lograr este resultado.

Si observamos un automóvil, uno puede pensar, en un primer momento, que el medio de este sistema es todo aquello que está fuera del automóvil. Incluso podemos decir que todo lo que está más allá de la pintura exterior del vehículo conforma su medio. ¿Pero esto es correcto? ¿Es correcto afirmar que lo que queda más allá, o fuera de las paredes de una fábrica es el medio de ese sistema? La fábrica puede tener representantes en diversos puntos del país, y aún en el extranjero, ya sea para la venta de sus productos o para la compra de equipos y materiales. Estas son, sin duda, partes del sistema total que constituye esa empresa industrial, y, sin embargo, estas partes no se encuentran dentro de sus paredes. Para complicar más este caso, es posible que el gerente general de esa empresa pertenezca a un determinado grupo de poder, a través del cual pueda ejercer ciertas presiones políticas y así obtener determinadas ventajas para esa empresa. Sus actividades políticas podrían ser consideradas como pertenecientes al sistema, aunque difícilmente podrían ocurrir dentro del espacio físico ocupado por la empresa. Esto nos puede llevar a concluir que, posiblemente, la pintura exterior del

automóvil no sea el límite o la frontera de ese sistema, como no lo es en el caso de la fábrica.

Se ha dicho que en esta edad de la tecnología eléctrica, el teléfono ha llegado a ser prácticamente una parte del individuo humano. En muchos casos parece difícil establecer una diferencia entre el oído. No podemos eliminar el teléfono que ayuda al oído. No podemos eliminar el teléfono, así como no podemos eliminar el oído de la persona. Así considerado, el teléfono sería una parte del sistema que hemos denominado ser humano.

Por lo tanto, el investigador de sistemas debe tener un criterio sobre el medio que se encuentre más allá de la observación de sus fronteras aparentes. Un criterio para enfrentar este problema es considerar que, cuando señalamos que algo queda fuera del sistema, queremos indicar que el sistema prácticamente no tiene control sobre ello, es decir, poco o nada puede hacer para modificar sus características o su conducta. El medio corresponde a los "datos dados" al sistema y, evidentemente, desde este punto de vista constituye sus limitaciones. Por ejemplo, si se fija una política laboral que afecta a una empresa, y que no puede ser cambiada por ella (a pesar de las presiones que trate de desarrollar) podemos señalar que esa legislación laboral en particular constituye una limitación de su medio.

Por el contrario, si la empresa (quizá a través de alguna asociación u otra institución social que reúna las diferentes empresas) puede influir y modificar esa legislación laboral; ésta puede considerarse en este sentido como parte del sistema.

En general, el medio de un sistema estará determinado por el problema que tiene entre manos el investigador y, evidentemente, una forma de determinarlo es fijando las fronteras reales del sistema *de acuerdo con el problema concreto.* Por ejemplo, supóngase que un hospital desea implementar dos decisiones que han tomado sus administradores: la primera es pintar todo el edificio y la segunda es estudiar un sistema de bienestar para su personal y sus familiares, ¿cómo definimos las fronteras del sistema y, por lo tanto, su medio? Evidentemente, en el primer caso, en el problema de la pintura, el sistema comprenderá todos aquellos edificios o paredes que legalmente (ya sea como propietario o como arrendador) le pertenecen. En el segundo caso no podemos utilizar el mismo sistema así definido (no todas las personas que se encuentran dentro de esos edificios pertenecen al sistema y, de hecho, muchas otras que pertenecen a él no se encuentran en sus instalaciones físicas). Por lo tanto, el criterio para determinar quienes pertenecen al

sistema, y quienes no (su medio) posiblemente sea utilizar la planilla de sueldos y salarios y extender los beneficios a los familiares de los que en ella figuran.

El medio no es sólo aquello que se encuentra fuera del control del sistema, sino que también es algo que determina, en parte, la conducta de éste. Por ejemplo, una granja agrícola depende de las condiciones climáticas de la región en que se encuentra. Podemos decir entonces que los cambios de temperatura y en general del clima, se encuentran en el medio de nuestro sistema porque el granjero nada puede hacer para cambiar esas condiciones (aunque, por la moderna tecnología podríamos decir que parte del clima puede ser controlado; por ejemplo los períodos de sequía a través de reservas o depósitos de agua y un sistema de regadío). También puede suceder que para algún estudio determinado en una empresa, supongamos su gerencia de ventas, el investigador descubra que existe una demanda muy restringida ("producción cautiva"). En otras palabras, que nuestra empresa produce un artículo químico que sólo es utilizado por otra empresa para llegar a un determinado producto de uso final (incluso, podemos pensar que ambas plantas se encuentran unidas por una cañería a través de la cual pasa la producción de una, que es a su vez, uno de los principales consumos de la segunda). ¿No debería considererarse a la oficina de adquisiciones de la segunda planta como parte del sistema de ventas de la primera?

Sin duda alguna que uno de los aspectos más importantes del medio de un sistema social es su "clientela", o la demanda. Por supuesto que el sistema puede influir en ella a través de la publicidad, de los precios y en general, de la comercialización de su producto (sea éste un bien o un servicio). Pero, en la medida que la demanda sea determinada por el individuo externo, se encontrará fuera del sistema, en su medio y pasará a constituir un dato o un factor limitante para ese sistema.[3]

Un buen método para determinar si un aspecto determinado pertenece al medio o al sistema, lo proporciona C.W. Churchman.[4] Señala que el medio no es el aire que respiramos, el grupo social al que pertenecemos o a la casa en que vivimos, no importa cuánto estos elementos pare-

[3]Autores como Barnatd y H. A. Simon, han señalado que los clientes deben ser considerados entre los participantes directos del sistema. Desde ese punto de vista, la demanda formaría parte del sistema y, por lo tanto, no formaría parte de su medio. Ver Barnard, "*The Function of the Executive*", (Cambridge The Harvard University Press) y H. A. Simon. Administrative Behavior.
[4]C.. W. Churchman, *op. cit.*, *p. 36.*

cieran estar fuera de nosotros. En cada caso uno debe hacerse dos preguntas:

1. ¿Puedo hacer algo frente a ello?
2. ¿Tiene importancia para mis objetivos?

Si la primera pregunta tiene una respuesta negativa y la segunda una positiva, ese aspecto constituye nuestro medio.

Generalmente, las autoridades de un sistema social fracasan en sus acciones simplemente porque creen que ciertos aspectos se encuentran fuera del sistema y, por lo tanto, son incapaces de controlarlos. Por ejemplo, tomemos el caso de la idea prevaleciente en el sentido de dar cabida en la universidad a todos ("Universidad para Todos") y supongamos que la Universidad, en este sentido, está representada más bien por aquellas disciplinas que desarrollan las llamadas profesiones "liberales" (medicina, leyes, dentística, etc.) y no por las que proporcionan carreras u oficios técnicos. Pues bien, ante esta presión de "Universidad para Todos", las autoridades universitarias se han visto en la necesidad de aumentar las matrículas año tras año, (distrayendo fondos destinados a investigaaciones y enfrentándose al problema de escasez de profesores y, por lo tanto, corriendo el peligro de bajar la calidad de la enseñanza). Esto ocurre porque ellas han tomado a la demanda externa como su medio. En otras palabras, la población en edad universitaria es el medio del sistema univesitario. Sin embargo, es posible que un programa educativo que muestre los inconvenientes de aumentar, por ejemplo, las dotaciones de las profesiones liberales, que señale las oportunidades que ofrecen las carreras o los oficios técnicos, las necesidades del país, etc., pueda modificar esa demanda y canalizarla hacia carreras tanto o más lucrativas que las "liberales" y que logren superar los problemas de "status" que, a nuestro juicio, son una de las barreras principales. En otras palabras, el sistema universitario podría en alguna medida controlar la demanda, lo que, desde el punto de vista de sistemas, sería decir que esa demanda es parte del sistema y no su medio.

8.3. Los recursos del sistema

Cuando hablamos de los recursos del sistema nos estamos refiriendo a su *interior*, es decir, a sus recursos internos. Por lo tanto no deben ser confundidos con los recursos externos; es decir, aquellas fuentes de energía o de información que llegan al sistema a través de sus corrientes de entrada. Estos se encuentran fuera del sistema, pertenecen al medio.

Los recursos del sistema son los arbitrios de que dispone para llevar a cabo el proceso de conversión y para mantener la estructura interna; en una palabra, para sobrevivir. En realidad, existen ciertos recursos que pueden ser considerados tanto como recursos externos y como recursos internos. Por ejemplo, la fuerza laboral de un sistema. Evidentemente que un ejecutivo, al estudiar la implementación de un proyecto o una decisión puede decir: cuento con tantos recursos humanos y, en ese sentido, estará hablando de recursos internos.

Pero cuando se enfrenta a una huelga general o de todo ese sector industrial o a un paro en la locomoción, puede decir que su corriente de entrada de energía humana se ha detenido o ha decrecido, de acuerdo con el caso. A nuestro juicio, la diferencia se encuentra en determinar si esa fuerza laboral pertenece al sistema o al medio y, de acuerdo nuevamente con el problema, aunque se trate de un mismo grupo de trabajadores, en un momento serán parte del sistema, como en el caso de la implementación del proyecto, y en otro serán parte del medio, como el caso de la huelga.

En general, los recursos del sistema, como opuestos al medio, son todo aquello que el sistema puede cambiar o utilizar para su propia ventaja. El sistema puede decidir cuáles trabajadores harán eso y cuáles aquello, o dónde se invertirá esta parte del presupuesto y en qué se gastará esa otra, o qué equipo y cuánto tiempo se utilizará en una determinada operación. En una palabra, son recursos internos del sistema aquellos sobre los cuales éste posee control.

Por eso, cuando nos referimos a los recursos, generalmente lo hacemos en términos de dinero, horas-hombre y equipos.

Así como a veces era difícil definir los objetivos reales del sistema o su medio, también puede suceder lo mismo al definir los recursos con que éste cuenta. Ya observamos alguna dificultad en el caso de la mano de obra o fuerza laboral que puede ser recurso interno o externo de acuerdo al problema que se trate.

Una forma de observar y determinar los recursos de un sistema social (especialmente de una empresa) es a través de su balance general. Efectivamente, en él aparecen diferentes recursos que el sistema posee; por ejemplo: sus edificios, equipos, cuentas por cobrar, saldos en bancos y caja, inventarios de materias primas, repuestos, productos terminados y otros. Es decir, todos aquellos recursos cuyo valor puede ser transformado en dinero. Sin embargo, si nos detenemos aquí, sin duda alguna sólo habríamos contabilizado parte de los recursos de ese sistema.

En efecto, hay recursos que no pueden ser convertidos tan fácilmente en dinero y otros que por una u otra razón no aparecen en el balance general.

Tomemos, por ejemplo, el personal con que cuenta el sistema. Sin duda alguna que son recursos del sistema su nivel de educación, su experiencia, sus grados académicos y/o profesionales; su cantidad, su distribución o promedio de edad, determinan mejores o peores recursos humanos. Otro caso se encuentra en la "imagen" que el sistema posee en el medio. Sin duda alguna que este es un recurso que la empresa puede explotar en su beneficio. Por ejemplo, en la lucha entre la Papelera de Puente Alto y el Gobierno de esa época que pretendía su nacionalización quedó en claro que la mayor parte de la comunidad apoyó a la empresa, que pudo mover en su favor a la opinión pública y a los partidos. Lo mismo puede decirse en el caso de la Radio Sociedad Nacional de Agricultura de Los Angeles.

Incluso puede pensarse que son recursos propios del sistema el poder o la influencia que algunos de sus integrantes pueda tener en otros sistemas. Por ejemplo, si por alguna relación particular resulta que uno de los ejecutivos de una empresa es muy amigo (o familiar) de un alto administrador de un banco comercial, esta relación puede ser considerada como un recurso del sistema, ya que a través de este canal, el sistema puede incluso ejercer algún control sobre esa oficina, quitándosela así al medio y sumándola al sistema. El sistema puede obtener ciertas ventajas tales como descuento de letras, préstamos a corto o a largo plazo, etcétera.

Existe, sin embargo, otra objeción aún más seria a la simple utilización del balance general. En efecto, este balance nos muestra como *fueron utilizados* los recursos. El investigador de sistemas debe aprender de la experiencia de la historia pasada. Pero el balance general típico oculta casi toda la información importante que uno desearía conocer si desea aprender de la experiencia. Lo que realmente debe servir como elemento de enseñanza son las oportunidades perdidas o mal aprovechadas, las posibilidades que nunca lograron implementarse porque los recursos estaban ocupados en otras materias y quizá empleados en forma ineficiente (es decir, observar los diferentes "costos de sustitución"). Sin embargo, estas informaciones no se encuentran en ese documento.

Desde este punto de vista, se hace necesario el establecimiento de todo un sistema de comunicación e información para proveer a los ejecutivos con los conocimientos necesarios para sus decisiones. Y, en este sentido, un sistema de información y comunicación eficiente es un valioso recurso.

Un sistema social puede tener recursos reales y también recursos potenciales. Estos últimos es probable que no sean considerados o que nunca se hagan reales, porque normalmente se requiere de una cierta inversión para que puedan cambiar de estado. Pero el hecho es que, ya sea a través del avance tecnológico o por otra razón, es posible que los recursos actuales del sistema puedan ser altamente amplificados.

Por ejemplo, una empresa ante la necesidad de ciertos conocimientos especializados (y escasos) se ve obligada a recurrir al mercado externo (universidades, otras empresas, agencias públicas, etc.), aunque quizá podría obtenerlos a través de la capacitación de su propio personal. En este sentido, los programas de entrenamiento y de capacitación son excelentes herramientas para aumentar (generalmente a un costo relativamente bajo) los recursos humanos disponibles.

El mismo desarrollo de un sistema de información y de comunicación (posiblemente utilizando computadores u otros equipos tecnológicos sofisticados) puede aumentar la capacidad y la calidad de las decisiones de los ejecutivos incrementando sus recursos administrativos, o liberándolos para otras actividades más productivas. En ese sentido, una buena organización y una buena delegación de decisiones rutinarias por parte de los ejecutivos, pueden darle a éstos las oportunidades de atacar problemas de real importancia que de otro modo no habrían sido tocados o en cuyo análisis y solución habrían tenido que invertirse otros recursos.

Por estas razones, para la contabilización de los recursos propios del sistema, no sólo es necesario incluir los recursos reales, sino considerar también los recursos potenciales y las posibilidades que existen para transformarlos en reales, pues los mecanismos o componentes que sirven para aumentar o amplificar los recursos del sistema pueden ser los más importantes.

8.4. Los componentes del sistema

Los recursos propios forman la reserva general del sistema a partir de la cual se puede desarrollar su conducta para alcanzar sus objetivos reales. Las acciones específicas que se llevan a cabo las realizan sus componentes, sus partes o sus subsistemas.

¿Cuáles son los subsistemas? Una forma de determinarlos podría ser a través del organismo que muestra las diferentes unidades administrativas (siempre que se dé en ellos el principio de la recursividad) en que se

ha dividido el sistema, tomando así las ventajas de la división del trabajo o diferenciación y de la especialización. Así tenemos las divisiones, los departamentos, las secciones, etc. Sin embargo, un cuidadoso examen del sistema puede indicarnos que esos pueden no ser los componentes *reales*, aunque posean títulos que en un principio nos llevarán a tomarlos como tales. Por ejemplo, en las empresas industriales podemos encontrar fácilmente un departamento de producción, lo que nos hace pensar que es allí donde se desarrolla toda la función convertidora del sistema. Otro departamento puede denominarse comercialización, y esto también nos puede llevar a pensar que es allí donde se dirige y administra la corriente de salida. Ahora, supongamos que nos encontramos en una empresa que fabrica según pedido (es decir, que el producto se hace de acuerdo a las características solicitadas por los clientes). En este caso ¿no debe estar presente, en el momento de la venta, el equipo de producción para aceptar o no las peticiones del cliente en función de las capacidades y recursos con que cuenta el subsistema? Aquí, indudablemente la venta depende de producción; luego, es posible que ambos subsistemas sean en realidad uno solo. Por estas razones, la estructura organizacional tradicional con sus funciones de comercialización, producción, adquisiciones, financieras, relaciones industriales, etc. no es una buena ayuda para el investigador de sistemas que pretende definir las partes de ese sistema, quien debe utilizar otro criterio. Este puede ser, de acuerdo con Churchman,[5] observar las "misiones", "los trabajos" o "las actividades" básicas, es decir, la división racional de las tareas que el sistema debe llevar a cabo. Así, por ejemplo, para la municipalidad de una ciudad, sus actividades básicas consisten en limpieza y sanidad, cuidado y reparación de calles y veredas, controles de tránsito y del comercio, salud y seguridad pública, etc. Por lo tanto, un investigador de sistemas interesado en estudiar las partes del sistema municipal, podrá enumerar estas misiones, trabajos o actividades y en seguida colocar bajo cada una de ellas las diferentes oficinas, agencias, organismos e instituciones, sin preocuparse de su nombre (salvo que todos son municipales) y definir así las partes y sus integrantes. Es posible que un organismo forme parte de más de un subsistema. Por ejemplo, la fuerza de carabineros es parte, sin duda alguna, del subsistema encargado de la seguridad pública. Sin embargo, ese mismo organismo participa en el control del tráfico. Si un analista de sistemas desea ubicar y definir el subsistema educacional dentro del sistema de gobierno de un país, comprenderá rápidamente que esta función no sólo se lleva a cabo dentro de los límites de un ministerio de educación. También se encuentran comprometidos en actividades educacionales otros departamentos (y ministerios) a través del entrenamiento y

[5] *Ibid* p. 40

capacitación de su personal y del público en general, ya sea a través de folletos, cursos cortos, programas de TV, etc. Por lo tanto, la evaluación social de las tareas o actividades educacionales no puede efectuarse solamente dentro de las líneas departamentales tradicionales.

En esta tarea de identificar las partes o componentes del todo, es probable que el analista encuentre problemas serios, especialmente con aquellas personas que dirigen los departamentos o unidades administrativas del sistema. El director de una unidad de la línea tradicional, tiene claramente definidos sus sistemas particulares y lo distingue del todo; debe sostener batallas en defensa de su unidad, ya sea en términos de presupuestos o en términos de personal; aún más, su trabajo o su participación es evaluada normalmente en términos de la conducta de su departamento. Y esto no sucede sólo con el jefe del departamento, sino también con las personas que participan dentro de él. Existe generalmente una identificación entre los *individuos* y su unidad de trabajo y aún es posible que, a través del desarrollo de las organizaciones informales, estos departamentos solidifiquen sus fronteras, aislándose del exterior, es decir, de los otros componentes del sistema.[6] Por ejemplo, en las universidades esto sucede frecuentemente. El estudio de las matemáticas aparece hoy día, prácticamente en todos los programas de estudio de las diferentes carreras; sin embargo, es el departamento de matemáticas el que define lo que estas materias significan, la forma en que deben impartirse y los niveles que deben alcanzarse en cada caso.

En general las unidades administrativas del sistema buscan la máxima independencia por razones de orgullo, poder, status, etcétera.

¿Por qué debe ser tan persistente el investigador de sistemas en hablar de misión en vez de departamento? Simplemente porque al hablar de misión y analizarla, él puede estimar el valor de una actividad para el sistema total, lo que no es posible lograr a través de la estimación de la realización de un departamento (o de su valor). El debe saber si la actividad de un componente del sistema es mejor que otra. Pero si la actividad de ese departamento sirve para otras misiones, es posible que no se pueda distinguir su contribución real.

Otra pregunta que se debe plantear es ¿para qué necesitamos componentes? El ideal para el analista sería que todo fuera una unidad, que

[6]Ver, por ejemplo, "El Grupo Simbiótico" en O. Johansen, "*Anatomía de la Organización*".

existiera sólo el sistema, sin tener que dividirlo en subsistemas. Pero esto es imposible. En consecuencia, la razón real para la separación del sistema en componentes (desde el punto de vista del análisis del sistema) es para proveer al investigador con el tipo de información necesario para diagnosticar apropiadamente el sistema y decir lo que haya que hacer después.

Desde el punto de vista de las misiones del sistema puede ser útil indicar aquí las diferentes funciones que debe llevar a cabo un sistema para sobrevivir (constituye la misión más importante del sistema total). Katz y Kahn[7] en un interesante estudio de la conducta de las organizaciones desde el punto de vista de la teoría de sistemas, distinguen cinco misiones fundamentales. Ellas son:

1. *La misión de producción*. Es decir, la conversión de la energía en el bien y/o servicio característico del sistema.
2. *La misión de apoyo*. Es decir, las funciones por las cuales se provee de suficiente energía al proceso de producción; la función de "comerciar" la corriente de salida en el medio y así originar las nuevas corrientes de entrada (el ciclo de actividad y las funciones de legalización del sistema en su medio).
3. *La misión de mantención*. Es decir, las funciones destinadas a lograr que los componentes del sistema permanezcan dentro del sistema, cuando éste los requiere, tanto física como psicológicamente.
4. *La misión de adaptación*. Es decir, las funciones destinadas a observar los cambios que se suceden en el medio, predecir las consecuencias que éstos tendrán para el sistema y proponer las medidas necesarias para adaptar el sistema a las nuevas condiciones del medio.
5. *La misión de dirección*. Es decir, el gobierno del sistema, la coordinación de los subsistemas, la adjudicación de los recursos entre ellos, todo esto para cumplir la misión (o las misiones) general del sistema total.

Observando a la organización tradicional desde el punto de vista de estas misiones, se comprende claramente la incongruencia que existe entre estas dos divisiones del sistema. Por ejemplo, observemos al subsistema de apoyo, y sólo una de sus actividades: la adquisición de la corriente de entrada. Inmediatamente, cuando queremos traducir esto a las unidades formales y clásicas de la estructura de la empresa, pensamos en la oficina de adquisiciones, la encargada normalmente de

[7]Katz y Kahn, "*Social Psychology of Organization*". (N. York, John Wiley and Sons Inc., 1966).

comprar materia prima y equipos, unidad que, efectivamente, pertenece a este subsistema o componente del sistema.Sin embargo, los materiales y equipos son sólo *una* de las corrientes de entrada. Existen otras: la que provee de recursos financieros, la que obtiene los recursos humanos, etc. Luego, el subsistema de apoyo (en esta "submisión" de adquirir la corriente de entrada) debe estar integrado *también* por todas aquellas unidades o partes de ella que se encargan de comerciar y lograr los préstamos bancarios; por las cajas que recolectan el dinero, producto de las ventas, etc. En general, pensando en el mecanismo de "Usos y Fuentes de Fondos", se integrarían a ellas todos aquellos departamentos a través de los cuales se obtienen los fondos; a la división de relaciones industriales, toda la oficina encargada de la selección y contratación de personal. Podemos ver entonces que, para "armar" al subsistema de apoyo, (repetimos, *sólo* en su aspecto de proveedor de la corriente de entrada) debe realizarse un corte horizontal a través de todas o la mayoría de las divisiones tradicionales en que se estructuran hoy en día las empresas y, en general, los sistemas sociales.

Hace un par de años atrás, nos parece que en el MIT (Massachusetts Institute of Technology), se estudiaba una nueva forma de estructurar las unidades administrativas en un sistema social (especialmente a nivel de producción). Estas unidades específicas eran prácticamente autónomas e independientes. Se operaba con "proyectos" o "tareas" y cuando surgía uno de éstos, sencillamente se armaba el componente juntando varias de estas unidades independientes, que así operaban hasta que terminaba el proyecto o bien eran reemplazadas por otras, para pasar a integrar otro subsistema con otra misión.

8.5. La dirección del sistema

Si revisamos lo que hasta ahora ha hecho nuestro analista con el fin de definir con precisión lo que es un sistema total, observaremos que ha definido sus objetivos reales, (es decir, aquellos que determinan la actuación del sistema). Enseguida se enfrentó con el problema de determinar el medio que rodea al sistema, lo que, sin duda, le sirve para conocer la extensión de su unidad de análisis. En tercer lugar examinó los recursos reales y potenciales con que cuenta el sistema para conseguir sus objetivos y, finalmente, como vimos en el punto anterior, procedió a definir las partes, componentes o subsistemas que constituyen el sistema. Ahora ha llegado al último paso, en esta tarea, la administración o dirección del sistema.

Para los efectos del analista de sistemas, esta es aquella parte en donde se generan los planes para el sistema. Es su "inteligencia" y su central

de decisiones. Allí es donde se consideran todos los aspectos que hemos discutido en los puntos anteriores. La dirección fija los objetivos de los componentes, distribuye los recursos y controla la actuación y el comportamiento del sistema.

Ahora puede aparecer algo paradojal para el investigador de sistemas. Después del trabajo realizado, puede pensar que si él ha sido el que ha estado trabajando en la construcción del modelo, si han sido sus análisis los que han determinado los objetivos del mismo, el medio, los recursos y los componentes. ¿Acaso entonces no es él el administrador? ¿Debería "amotinarse y hacerse cargo de la dirección con la ayuda de todas sus técnicas y sistemas?".

La verdad es que esto no es así, y él no lo desea tampoco. El es un hombre de ideas, no un hombre de acción. Este último debe correr riesgos y si fracasa no sólo puede ser expulsado de la organización, sino que también puede quedar arruinado. Nuestro investigador de e-mas toma riesgos individuales. Si él fracasa, no tiene que responsabilizarse por el fracaso de todo el sistema.

La administración del sistema no sólo debe generar los planes que éste debe desarrollar, sino también asegurarse de que los planes sean implementados de acuerdo con las ideas originales. Y si no es así, debe determinar el por qué. Esta actividad se conoce generalmente bajo el término de control, aunque la palabra en sí encierre un sentido negativo. Estamos acostumbrados a la idea de control coercitivo, como alguien señalaba, al control del carabinero, que está presto a castigar a quien no cumple. Sin embargo, el concepto moderno de control (especialmente el desarrollado por la ciencia de la información y del control, la cibernética) lo plantea más bien en el sentido del piloto que controla la dirección del avión. Así, gran parte del control dentro del sistema opera a través del principio de excepción, de modo que la administración no interfiere en las actividades de las partes componentes *a menos* que la conducta de éstos evidencie una desviación demasiado grande de los planes.[8]

Sin embargo, el control no sólo significa el examen del correcto desarrollo de los planes y metas señaladas, sino que también implica su evaluación y los consecuentes cambios de planes y metas. Estos cambios constituyen uno de los aspectos más críticos de la administración de sistemas, porque nadie puede decir que se han fijado objetivos correctos,

[8]Como el lector habrá descubierto, estamos utilizando aquí el concepto de control elaborado anteriormente en esta obra, especialmente la idea de retroalimentación negativa.

o se ha definido el medio en forma precisa, si se han determinado bien los objetivos y la definición de los componentes. Siempre es probable que se haya escapado algo, que se haya cometido un error, o que se hayan sobrevaluado ciertos recursos. Por lo tanto, la administración del sistema debe recibir informaciones tales que le indiquen cuando su concepto y definición de sistema es errado y debe ser cambiado.

El capitán de un barco, siguiendo la comparación que hace N. Wiener entre esta función de la administración y el gobierno de un barco, tiene la responsabilidad de asegurar que el barco llegará a su puerto de destino dentro de un tiempo prescrito y de acuerdo con un plan de navegación (escalas).

Este es el objetivo general del sistema. Su actuación se medirá en términos de esa meta. El medio del barco es el conjunto de condiciones externas que la nave debe enfrentar: el tiempo, la dirección del viento, la fuerza de las olas, las corrientes marinas, etc. Desde el punto de vista del capitán, también puede considerarse parte del medio la actuación de las máquinas y la tripulación, ya que éstos se encuentran dados durante el viaje (y siempre que la respuesta a la primera pregunta —¿Puedo hacer algo?— sea negativa, y la de la segunda pregunta —¿Tiene relación con mi objetivo?— sea afirmativa). Los recursos del barco son las máquinas, la tripulación, el combustible. Los componentes del sistema son las misiones de la sala de máquina, las misiones de mantención (de máquinas y hombres) de vigilancia, etc. El capitán del barco, como administrador general, da el plan para las operaciones de la nave y vigila su desarrollo correcto. El posee varios sistemas de informaciones dentro del barco que le informan si han ocurrido y dónde han ocurrido desviaciones del plan fijado. Su tarea es determinar el por qué, evaluar el comportamiento de la nave y luego, si es necesario, modificar los planes si la información de que dispone le indica que es aconsejable hacerlo. Esto equivale, como hemos visto anteriormente, a un sistema con circuito cerrado con retroalimentación negativa (generalmente). Un problema central para este tipo de control es la velocidad a que debe fluir la información para que este sistema sea operativo. Cualquiera que haya dirigido una embarcación en un mar "picado" reconocerá que si uno responde en forma demasiado rápida o, al revés, demasiado lenta ante la acción de una ola, se le presentarán problemas. Lo que requiere es una retroalimentación en circuito cerrado que permita al administrador reaccionar a los cambios de las variables externas (o del medio) de una manera óptima.

Bibliografía

1. R. Aldunate Ph., *Los Robots no Tienen a Dios en el Corazón*, (Stgo., Ed. Andrés Bello).
2. H. I. Ansoff, *Corporate Strategy*. (Mimeo).
3. M. A. Arbib, *Brains, Machines and Mathematics*, (N. York, McGraw-Hill Book Co.).
4. R. Ashby, *Proyecto para un Cerebro*, (Madrid, Ed. Tecnos, S.A.).
5. R. Ashby, *Introductory Remarks at Panel Discussion*. En Mesarovic, *Wiews on General Systems Theory* (N. York, J. Wiley & Sons Inc.).
6. Ch. Barnard, *The Function of the Executive*, (Cambridge: The Harvard University Press).
7. S. Beer, *Decisions and Control*, (London, J. Wiley & Sons Inc.).
8. S. Beer, *Práctica Cibernética en el Gobierno*, (Stgo., Corfo.).
9. L. Von Bertalanffy, *Concepción Biológica del Cosmos*, (Stgo., Ed. Universitaria).
10. L. Von Bertalanffy, *General Systems Theory*, (N. York, G. Brasiller).
11. L. Von Bertalanffy, *General Systems Theory*: A Critical Review, *General Systems VII*.
12. *K. Boulding, The Image*, (Ann Arbor, The University of Michigan Press).
13. K. Boulding, General Systems Theory: The Skeleton of Science, *Management Sciences* 2).

14. L. Brillouin, Life, Thermodinamics and Cybernetics, *American Scientists* 37).
15. F. Cesarmann, *Ecocidio: La Destrucción del Medio Ambiente*, (México, Ed. Joaquin Mortiz, S.A.).
16. R. Cyert J. J. March, *A Behavioral Theory of the Firm*, (Englewood Cliffs, Prentice Hall Inc.).
17. C. W. Churchman, *The Systems Approach*, (N. York Dell Pub. Co.).
18. F. S. Drechsler, *Decition Trees and the Second Law, Operational Research Quarterly*).
19. P.F. Drucker, *La Ciencia de la Gerencia*, (B. Aires, Ed. Sudamericana).
20. J. R. Emshoff, *Analysis of Behavioral Systems*, (N. York, The Macmillan Co.).
21. B. Golberg, *El Señor de las Moscas*, (B. Aires, Ed. Minotauro).
22. A. D. Hall, *Ingeniería de Sistemas*, (México, CECSA Ed.).
23. H. Hass, *Energía y Evolución*, (Madrid, Plaza y Janes Ed.).
24. J. Huxley, The Impending Crisis, en *The Population Crisis and the Use of World Resources*, (La Haya W. Junk Pub.).
25. O. Johansen B., *Sistemas y Organización*, (Stgo. INSORA).
26. O. Johansen B., Problemas Organizacionales: Soluciones y Efectos, *CELECA 1*).
27. O. Johansen B., *Las Comunicaciones y la Conducta Organizacional*, (México, Ed. Diana).
28. H. Kahn y A. J. Wiener, *El año 2.000*, (B. Aires, Emecé).
29. Katz y Kahn, *The Social Psychology of Organizations*, (N. York, J. W. Wiley & Sons Inc.).
30. Malcolm y Knowles, *Introducción a la Dinámica de Grupos*, (México, Ed. Letras).
31. J. O'Manique, *Energía en Evolución*, (Madrid Plaza y Janes Ed.).
32. March y Simon, *Organizations*, (N. York, J. Wiley & Sons Inc.).
33. Maruyama, The Second Cybernetics, Deviation-Amplifying Mutual Causal Processes, *American Scientists* 51).
34. J. W. McGuire, Interdisciplinary Studies in Business Behavior, (Chicago, S. Western Pub. Co.).
35. Mesarovic, *Views on General Systems Theory*, (N. York, J. Wiley & Sons Inc.).
36. H. G. Mesteer, *Rockefeller*, (Barcelona, Ed. Bruguera, S. A.).
37. J. J. Miller, The Living Systems, *Behavioral Sciences*.
38. V.L. Parsegian, *This Cybernetic World of Men, Machines and Earth Systems* (N. York, Doubleday Co. Inc.).
39. W. R. Roberts, Rethorica, en W. D. Ross *The Works of Aristotle*
40. W. D. Ross, *The Works of Aristotle*, (Oxford, Oxford University Press).

41. H. A. Simon, Selective Perception: Note on A Departmental Identification of Executive, *Sociometry 21*).
4.2 L. Spier, Graph Theory as a Method for Exploring Business Behavior, en J. W. Mc Guire, *Interdisciplinary Studies in Business Behavior*, (Chicago, S. Western Pub. Co.).
43. M. K. Starr, *Production Management*, (Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall Inc.).
44. Schrodinger, *What is life?*, (Cambridge, Cambridge University Press).
45. A. F. Thienemann, *Vida y Mundo Circundante*, (B. Aires, Ed. EUDEBA).
46. B. Tower, *The Teillhard* Review, (Vol. 1 N°2).
47. N. Wiener, *Cybernetics*, (Cambridge, Mass. MIT Press).
48. W. Wieser, *Organismos, Estructuras, Máquinas*, (B. Aires, Ed. Universitaria).

—ooo—