

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 Bouldrig¹ y otros. El esfuerzo 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

¹ Este es el 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.

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.

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

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 uni-direccional, porque las reacciones del subordinado a su vez, actúan o reaccionan en el superior y, en general, en todo el sistema.

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.

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

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

- Átomos: 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 energía cinética.
- Alambres: Fuerza de tensiones, 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 información a la gerencia para la toma de decisiones. 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

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.

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 científicos 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, subsiste-mas de un sistema mayor o *supersistema*.

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 sub-sistemas (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 re-cursividad. Por ejemplo, el corazón o el aparato nervioso pueden ser sub-sistemas 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 distinguen 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

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).

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

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.

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 referencia". 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 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.

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.

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 Tele 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 automantenencia 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 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,

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

"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 una 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

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.

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 (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 desarrollo y crecimiento de las especies. Hoy día este sistema tiende a perder su equilibrio. Se está produciendo lo que F. Cesarman¹² 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

¹² F. Cesarman, *"Ecocidio: La Destrucción del Medio Ambiente"*, (México, Ed. Joaquín Mortiz S.A., 1972).

¹³ *ibid.* p. 13.

estos seres continúen 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. Él 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 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 estrictamente 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

¹⁴ J. Huxley, "The Impeding Crisis", en *"The Population Crisis and the Use of World Resources"*, (La Haya, W. Junk Pub., 1964), mencionado por Cesarman *op. cit.*

como los objetos que se encuentran 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 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

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.

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

Las variaciones del medio que afectan al sistema son conocidas.

1. Su ocurrencia no puede ser predecida (el modelo de comportamiento de la variación es desconocido).
2. La naturaleza de las variaciones es conocida.

¹⁸ M. K. Starr, "Production Management", (Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall Inc, 1964).

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 Bertalanffy¹⁹ (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.

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.

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.

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 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,

²¹ *Ibid* p. 28.

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.