

Capítulo I

La Teoría General de Sistemas y su aporte conceptual a las ciencias sociales

Marcelo Arnold y Francisco Osorio

Introducción

En un sentido amplio, la Teoría General de Sistemas (TGS) se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad y, al mismo tiempo, como una orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo multidisciplinarias.

En tanto paradigma científico, la TGS se caracteriza por su perspectiva holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. En tanto práctica, la TGS ofrece un ambiente adecuado para la interrelación y comunicación fecunda entre especialistas y especialidades.

Bajo las consideraciones anteriores, la TGS es un ejemplo de perspectiva científica. En sus distinciones conceptuales no hay explicaciones o relaciones con contenidos preestablecidos, pero sí podemos, con arreglo a ellas, dirigir nuestra observación, haciéndola operar en contextos reconocibles.

Los objetivos originales de la Teoría General de Sistemas son los siguientes:

- a) Impulsar el desarrollo de una terminología general que permita describir las características, funciones y comportamientos sistémicos.
- b) Desarrollar un conjunto de leyes aplicables a todos estos comportamientos.
- c) Promover una formalización (matemática) de estas leyes.

La primera formulación en tal sentido es atribuible al biólogo Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), quien acuñó la denominación "Teoría General de Sistemas". Para él, la TGS debería constituirse en un mecanismo de integración entre las ciencias naturales y sociales y ser al mismo tiempo un instrumento básico para la formación y preparación de científicos.

Sobre estas bases, se constituyó en 1954 la “Society for General Systems Research”, cuyos objetivos fueron los siguientes:

- a) Investigar el isomorfismo de conceptos, leyes y modelos en varios campos y facilitar las transferencias entre aquellos.
- b) Promover y desarrollar modelos teóricos en campos que carecen de ellos.
- c) Reducir la duplicación de los esfuerzos teóricos.
- d) Promover la unidad de la ciencia a través de principios conceptuales y metodológicos unificadores.

A lo largo de la segunda mitad del siglo XX, la TGS incorpora los aportes conceptuales de investigadores de diferentes disciplinas, por lo que se deja de relacionar la TGS exclusivamente con el pensamiento de Bertalanffy y se entiende actualmente, por lo tanto, como un paradigma multidisciplinario de investigación científica.

Adentrándonos en sus conceptos, siempre que se habla de sistemas se tiene en vista una totalidad cuyas propiedades no son atribuibles a la simple adición de las propiedades de sus partes o componentes.

En las definiciones más corrientes se identifican los sistemas como conjuntos de elementos que guardan estrechas relaciones entre sí, que mantienen al sistema directa o indirectamente unido de modo más o menos estable y cuyo comportamiento global persigue, normalmente, algún tipo de objetivo (teleología). Esas definiciones que nos concentran fuertemente en procesos sistémicos internos deben, necesariamente, ser complementadas con una concepción de sistemas abiertos, donde una condición para la continuidad sistémica es el establecimiento de un flujo de relaciones con el ambiente.

A partir de ambas consideraciones la TGS puede ser desagregada, dando lugar a dos grandes grupos de estrategias para la investigación en sistemas generales:

- a) Las perspectivas de sistemas en donde las distinciones conceptuales se concentran en una relación entre el todo (sistema) y sus partes (elementos).
- b) Las perspectivas de sistemas en donde las distinciones conceptuales se concentran en los procesos de frontera (sistema/ambiente).

En el primer caso, la cualidad esencial de un sistema está dada por la interdependencia de las partes que lo integran y el orden que subyace a tal interdependencia. En el segundo, lo central son las corrientes de entradas y de salidas mediante las cuales se establece una relación entre el sistema y su ambiente. Ambos enfoques son, ciertamente, complementarios.

Como se sabe, en este punto se han producido importantes innovaciones en la TGS (observación de segundo orden), tales como las nociones que se refieren a procesos que aluden a estructuras disipativas, autorreferencialidad, autoobservación, autodescripción, autoorganización, reflexión y autopoiesis (mismas que serán desarrolladas en los próximos capítulos de este libro).

Actualmente, la teoría de sistemas comprende un conjunto de enfoques que difieren en estilo y propósito, entre los cuales se encuentra la teoría de conjuntos (Mesarovic), teoría de las redes (Rapoport), cibernética (Wiener), teoría de la información (Shannon y Weaver), teoría de los autómatas (Turing), teoría de los juegos (von Neumann), entre otras. Por eso, la práctica del análisis aplicado de sistemas tiene que aplicar diversos modelos, de acuerdo con la naturaleza del caso y con criterios operacionales, aun cuando algunos conceptos, modelos y principios de la TGS—como el orden jerárquico, la diferenciación progresiva, la retroalimentación—son aplicables a grandes rasgos a sistemas materiales, psicológicos y socioculturales.

Si bien el campo de aplicaciones de la TGS no reconoce limitaciones, al usarla en fenómenos humanos, sociales y culturales se advierte que sus raíces están en el área de los sistemas naturales (organismos) y en la de los sistemas artificiales (máquinas). Mientras más equivalencias reconozcamos entre organismos, máquinas, hombres y formas de organización social, mayores serán las posibilidades para aplicar correctamente el enfoque de la TGS, pero mientras más experimentemos los atributos que caracterizan lo humano, lo social y lo cultural y sus correspondientes sistemas, quedarán en evidencia sus inadecuaciones y deficiencias (sistemas triviales).

No obstante sus limitaciones, y si bien reconocemos que la TGS aporta en la actualidad sólo aspectos parciales para una Teoría de Sistemas Constructivista, resulta interesante examinarla con detalle. Entendemos que es en ella donde se fijan las distinciones conceptuales fundacionales que han facilitado el camino para la introducción de su perspectiva, especialmente en los estudios ecológico culturales (e.g. M. Sahlins, R. Rapoport), politológicos (e.g. K. Deutsch, D. Easton), organizaciones y empresas (e.g. D. Katz y R. Kahn) y otras especialidades antropológicas y sociológicas contemporáneas.

1. El comienzo de la TGS

En esta sección nos dedicaremos a presentar las bases conceptuales originales de la TGS, siguiendo el pensamiento de Bertalanffy. En la siguiente sección, desarrollaremos los aportes que siguieron a esta propuesta y que ampliaron y consolidaron la TGS. Finalmente, entregaremos un glosario de la TGS, que sistematiza la potencialidad conceptual de este paradigma para su uso en la actividad científica contemporánea.

1.1. El contexto epistemológico original de la TGS

Consideramos que el texto fundamental de la Teoría General de Sistemas es el publicado en 1950 por Ludwig von Bertalanffy, en la revista *British Journal for the Philosophy of Science*, bajo el título “An Outline of General Systems Theory”. La razón de ello es doble, a nuestro parecer. La primera es que en la década de 1940, Bertalanffy había desarrollado su propuesta principalmente en idioma alemán, dentro de revistas de ciencias naturales. Sin embargo, su objetivo es fundacional, lo que significa que la TGS compete al conjunto de las ciencias (naturales y sociales), implicando con ello al público académico más amplio posible, escribiendo en inglés, en una revista nueva para su época, dedicada a la filosofía de la ciencia. La segunda razón es que el propio Bertalanffy se propone como objetivo en este artículo caracterizar la TGS, de ahí el nombre del mismo.

También en 1950, Bertalanffy publicó otro artículo importante en la revista *Science*, titulado “The Theory of Open Systems in Physics and Biology” y en 1951 apareció “General System Theory: A new approach to unity of science”, esta vez en la revista *Human Biology* y que contó con la co-autoría del afamado filósofo Carl Hempel. El pensamiento de la TGS apareció por primera vez como libro en 1968, publicado en New York, bajo el título *General System Theory. Foundations, Development, Applications*.

Medio siglo después de tan importante artículo, nuestro objetivo es introducir al lector en el contexto epistemológico en que escribe Bertalanffy, describir su propuesta, sus conceptos principales y preguntarse por la vigencia de la TGS como programa multidisciplinario.

Una posible manera de entender la propuesta de Bertalanffy es considerar contra quién está escribiendo su artículo o, dicho de manera menos dramática, de quién se quiere diferenciar para no ser confundido.

Bertalanffy señala explícitamente en su artículo que su propuesta no cae dentro de la tradición mecanicista, fiscalista o vitalista. Para un lector contemporáneo, tal vez estos conceptos no tengan mucho sentido, por lo que vamos a explicarlos en breve.

Entonces, ¿desde dónde habla Bertalanffy? Si bien él no se describe así, es probable que el lector entienda que Bertalanffy es positivista lógico.¹ pero no es un realista. Como la expresión “positivista lógico” o, más sucintamente, “positivista”, adquirió una connotación negativa hacia finales del siglo XX, el lector podría ya adquirir un pre-juicio con respecto a la propuesta de Bertalanffy. Además, podría verse sorprendido por la idea de que existen empiristas lógicos (la manera en que ellos

¹ Interesantemente, Bertalanffy no se reconocía a sí mismo como positivista lógico (ver Arnold, 1998). El lector podrá en adelante revisar nuestra argumentación al respecto, pero podemos resumir el punto señalando que la disputa de Bertalanffy con Carnap era por las posturas fiscalistas de este último.

se llaman a sí mismos) que no son realistas. Bertalanffy habla desde la epistemología de la ciencia más fuerte en su época.

Para clarificar las diferentes posturas, el mismo Bertalanffy nos señala que la visión de mundo mecanicista es la concepción de que todos los fenómenos son, en último término, agregados de acciones fortuitas de unidades físicas elementales. Por cierto que, como biólogo sistémico, él no está de acuerdo con las posturas “biologicistas”, que reemplazan la física por la biología, siendo más de lo mismo. Cercano a la postura mecanicista, se encuentra el fiscalismo, que plantea que toda la ciencia debe al final basarse en el modelo de la física, especialmente en su lenguaje técnico. Así, todos los fenómenos naturales y humanos pueden ser explicados como variaciones de los principios físicos y la descripción de los mismos se puede hacer en un lenguaje formal matemático. El mecanicismo y el fiscalismo han mutado hasta nuestros días.

De lo anterior, tal vez para el lector de principios del siglo XXI lo más sorprendente sea el vitalismo. En palabras de Bertalanffy, el vitalismo es esencialmente el intento de explicar la direccionalidad de lo orgánico por medio de la persecución inteligente de un objetivo. Hasta ahí no suena nada extraño, pero si miramos con atención el vitalismo, éste plantea que el fenómeno de la vida no puede ser explicado por causas naturales (físicas, químicas o biológicas), sino por una vitalidad a su interior. ¿Qué es esta “vitalidad”? La palabra más cercana sería alma. Es “algo” que se encuentra en células, árboles y personas (cualquier fenómeno orgánico), que le da su fuerza y dirección.

Pues bien, este es gruesamente el contexto de la ciencia a mediados del siglo XX (no hace mucho, si se nos permite decirlo): o bien los científicos seguían orientando su trabajo con base en la tradición filosófica clásica, o bien empezaban a sospechar que se podía construir una ciencia rigurosa. Por esta última palabra, se entiende una definición que clarifique cuándo estamos en presencia de un conocimiento científico y cuándo no estamos frente a él.

Esta última misión es la que el empirismo lógico tomó como su propósito en la vida. Se puede resumir la propuesta del empirismo lógico como la solución al problema de la demarcación. Por este concepto, ellos querían decir que se podía diferenciar entre la ciencia y la no-ciencia. En un lenguaje contemporáneo, su misión era trazar la distinción del conocimiento científico. Para lograr su objetivo, pensaron que un elemento clave era “ordenar la casa” llamada ciencia. No se refiere esto a catalogar los muebles y cuadros de nuestra casa (listado de conocimientos acumulados), sino a saber qué hace que nuestra casa sea una casa y no otra cosa (como un edificio o una choza). Concluyeron que para ello, debían construir un lenguaje sin ambigüedades. Por ejemplo, había que partir de responder preguntas como las siguientes: qué es una hipótesis, qué es una ley científica, cuál es la

estructura lógica de la explicación científica, qué es el mundo, qué papel juega lo empírico en el proceso de conocimiento y qué papel cumple la observación humana en todo ello.

Para ejemplificar el argumento, citaremos un párrafo algo extenso de *Bertalanffy* (1950: 142):

La posición central del concepto de totalidad en biología, psicología, sociología y otras ciencias es generalmente reconocida. Lo que es significado por este concepto es indicado por expresiones tales como “sistema”, “gestalt”, “organismo”, “interacción”, “el todo es mayor que la suma de sus partes” y así por el estilo. Sin embargo, esos conceptos han sido a menudo mal interpretados, son vagos y de alguna manera tienen un carácter místico. El científico exacto, por lo tanto, está inclinado a mirar a esas definiciones con justificada desconfianza. Así, parece necesario formular esas concepciones en un lenguaje exacto. La Teoría General de Sistemas es una nueva doctrina científica de la totalidad –una noción que ha sido considerada hasta el momento vaga, confusa y metafísica.

Como buenos empiristas, los positivistas lógicos no eran realistas. Por ejemplo, Bertalanffy define el mundo como “la totalidad de los eventos observables” (1950: 137). Como vemos, el acento está en la observación, no en cómo el mundo es tal como es. Los empiristas lógicos estaban cansados de la metafísica de su época, es decir, aquella definición de lo que el mundo es en sí, con independencia de la observación humana del mismo. Por observación ellos entienden el uso de los órganos de los sentidos del cuerpo humano (mirar, escuchar, tocar, etc.).

Así se puede entender, entonces, el objetivo de la TGS en su artículo de 1950: frente a la tradición científica antropocéntrica de su tiempo (vitalismo), Bertalanffy propone un marco de investigación científico estricto, cuya estructura lógica define claramente sus elementos conceptuales y caracteriza las relaciones entre ellos, con independencia de un sistema metafísico anexo que lo fundamente.

Si nuestra interpretación es correcta, creemos que se puede comprender por qué a los sistémicos constructivistas se les critica tanto que no consideren al hombre (lenguaje antiguo) o al sujeto (lenguaje moderno). Por decirlo de manera coloquial, está inscrito en el mismísimo ADN sistémico el des-antropocentrismo de la actividad científica. Nos explicamos. Toda la filosofía antes de Heidegger antropomorfizaba al ser, es decir, daba atributos propios del ente humano al ser, siendo el punto que el ser no es el ente. Por ejemplo, al decir que el ser es omnicompreensivo, se le atribuye al ser una característica del ente humano: la comprensión. Lo mismo es decir que el ser es infinito y todo tipo de omni-algo. La respuesta de Heidegger es la siguiente: el ser no es un ente, es poder ser. Sería un gran error pensar que no hay un sujeto

en la metafísica de Heidegger, dado que las “personas” son definidas como Dasein, precisamente el ahí del ser.

Bertalanffy es contemporáneo al filósofo alemán y, en el mismo sentido en nuestra opinión, acaba por siempre con el vitalismo en las ciencias naturales y, de paso, lo inutilizó como modelo para las ciencias sociales. En resumen, lo que hace Bertalanffy es fundar la actividad científica sin la metafísica clásica, sin presuponer que se requiera un fundamento antropocéntrico para entender el mundo. Ante la falta de apoyo de la tradición, la ciencia de orientación sistémica buscará dentro de sí misma los fundamentos de su proceso de conocimiento.

Hasta aquí, entonces, el desarrollo del contexto en que se encontraba la TGS al momento de su nacimiento. Corresponde a la siguiente parte concentrarse en la propuesta como tal.

1.2. La propuesta original de la TGS

A nuestro modo de ver, la propuesta de Bertalanffy se puede caracterizar como una solución no-antropocéntrica al fenómeno del isomorfismo.

Bertalanffy constata que se produjo un cambio en el trabajo científico, dado que sus practicantes han empezado a dejar de trabajar aislados y han dejado de considerar sus problemas de investigación con independencia de otros campos de conocimiento. Si la forma anterior de trabajo era analítica, la que él diagnostica la llama sistémica. La ciencia tradicional se dedicaba a estudiar partes de fenómenos, mientras que la ciencia sistémica se concentra en las relaciones entre las partes. Por ejemplo, si en la física tradicional se estudiaban partículas elementales, en la física sistémica se estudian los problemas de organización de la materia. Si en la biología clásica el objeto de estudio es el órgano, en la sistémica es el organismo. Según Bertalanffy, este cambio se puede observar en la filosofía y también en las ciencias sociales. La pregunta es, entonces, ¿hay alguna razón para este cambio?

Pero no sólo en la manera de concebir la actividad científica se ha dado un desarrollo paralelo, sino que también este cambio se puede observar en el fenómeno del isomorfismo de las leyes científicas. El isomorfismo se puede definir como una correspondencia formal entre fenómenos diversos. Bertalanffy da como ejemplo la ley exponencial en matemáticas. En su formulación como función exponencial positiva, puede aplicarse a átomos, moléculas, bacterias, animales, seres humanos y libros, esto último porque el incremento en el número de publicaciones sobre la mosca *Drosophila* a lo largo de la historia científica, sigue una curva exponencial positiva. Otros ejemplos que da Bertalanffy se encuentran en regularidades descubiertas por la demografía al estudiar el crecimiento de poblaciones humanas en espacios limitados, que también se encuentran en casos de crecimiento orgánico, en reacciones autocatalíticas en química y en la distribución de líneas de trenes en

un país. También hay semejanzas entre la percepción del tipo gestalt en psicología y el re-establecimiento de funciones normales en el sistema nervioso central después de remover algunas de sus partes.

Los fenómenos son de diverso tipo y los mecanismos causales que los caracterizan son también diversos, pero este es el punto, dice Bertalanffy, ¿cuál es la razón del isomorfismo en la ciencia?

Una primera respuesta, señala, que se debe reconocer que el número de esquemas intelectuales disponibles es más bien limitado, por lo que no nos debiera sorprender que leyes estructurales idénticas se apliquen a diferentes campos. Para un lector contemporáneo, esta primera respuesta seguramente será sorprendente, pues Bertalanffy no fundamenta el isomorfismo en la realidad. Esto es así, porque él define el mundo como la totalidad de los eventos observables, y tiene la convicción de que, por muy limitado que sea el intelecto humano, hay una correspondencia entre la ciencia y el mundo para justificar nuestra empresa.

Sin embargo, la respuesta que él propone es que existen leyes que se caracterizan por el hecho de aplicarse a ciertas clases de complejidades o sistemas, independientes del tipo especial de entidades involucradas.

Tenemos aquí un sinónimo de la palabra sistema, el concepto de complejidad. El constructivismo sistémico medio siglo después diferenció estos conceptos, pero en el sistema teórico original estaban en el mismo nivel.

¿Qué es lo novedoso de esta respuesta? La diferencia que nos propone entre clase y caso. Más que detenerse en los casos particulares, mejor es fijarse en la clase de complejidad que los agrupa, en una palabra, en el sistema.

El ejemplo que da Bertalanffy es el siguiente. La ley exponencial se puede formular diciendo que dado un complejo con un número de entidades, un porcentaje constante de esos elementos decaerá o multiplicará por unidad de tiempo. Esta ley es la misma si se aplica a moléculas o a líneas de trenes. En este último caso, continúa Bertalanffy, las líneas de tren que ya existen en un país llevan a la intensificación del tránsito y la industria, la cual a su vez, lleva a una mayor densidad de redes de ferrocarril, hasta un punto de saturación dado lo limitado del espacio. Por ende, las redes se comportan como una curva autocatalítica química.

Entonces, dado el isomorfismo de las leyes consideradas, Bertalanffy propone que existe un "Sistema General de Leyes" que se aplica a cualquier sistema de un cierto tipo, independiente de las propiedades particulares del sistema o los elementos involucrados. En otras palabras, continúa, la respuesta al isomorfismo de las leyes encontrado en diferentes campos es que existe una correspondencia estructural u homología lógica de sistemas, en los cuales las entidades consideradas son de una naturaleza completamente diferente.

Lo anterior, dice Bertalanffy, le permite postular una "nueva disciplina científica básica", que propone llamar "Teoría General de Sistemas".

La TGS es en sí puramente formal, dice Bertalanffy, pero es aplicable a todas las ciencias concernientes con sistemas. Lo define como un campo lógico-matemático, cuyo objeto de estudio es la formulación y deducción de los principios que son válidos para los sistemas en general, si se acepta el supuesto de que existen principios que son aplicables a sistemas en general, cualquiera que sea la naturaleza de sus elementos componentes o las relaciones o “fuerzas” entre ellas.

Podemos notar que la TGS no es una “teoría”, sino una disciplina. Como tal Bertalanffy define su objeto de estudio (sistemas), su metodología (lógica) y su propósito (los principios válidos para sistemas generales).

Tal vez el lector condene desde ya esta disciplina, pues podría hacer suya la afirmación más propia de finales del siglo XX: no es posible postular leyes que expliquen la conducta sociocultural, pues los fenómenos humanos son de mayor complejidad que los fenómenos físicos. Bertalanffy previó esa crítica y responde de la siguiente manera. Primero, justamente esta nueva disciplina tiene como objetivo de estudio la complejidad, por lo que no le asustan los fenómenos naturales o sociales por más difíciles que sean en su estudio. Al contrario, esta disciplina nació para abordar tales fenómenos. Segundo, esta crítica no es sino una versión mutada del mecanicismo, dado que ocupa el siguiente razonamiento erróneo: dado que las únicas leyes que se han demostrado efectivas han sido las de la física, entonces sólo pueden existir leyes sociales del mismo tipo que las físicas y, dado que no hay leyes humanas así, la empresa de la ciencia social está fracasada. ¿Por qué está mal ese razonamiento? Porque parte de un mal supuesto (el modelo de la ciencia es la física), siendo la misión de la ciencia, según Bertalanffy, el proponer leyes para los diferentes estratos de la realidad. Las leyes de la física se aplican en los fenómenos físicos y las leyes de la conducta humana se aplican en los fenómenos humanos. Dicho de otra manera, si antes de Bertalanffy la física se pensaba que era el sistema de la ciencia, después de él es un subsistema de la ciencia.

La TGS, entonces, tiene como misión ordenar la casa llamada ciencia. Más bien sería como ordenar el edificio de la ciencia, señalando las leyes que se aplican a cada piso por separado y los principios generales que regulan todo sistema científico, no importa el piso donde se encuentren, dada la propiedad del isomorfismo.

Realizando un breve resumen de lo expuesto, señalamos el contexto epistemológico en que aparece la TGS y describimos su propuesta como disciplina científica. Corresponde ahora responder a la pregunta de cómo se puede entender la multidisciplina desde la TGS y exponer, hacia el final, el conjunto de conceptos básicos de la TGS, con el propósito de guiar la comprensión de sus enunciados.

1.3. ¿Qué significa multidisciplina desde Bertalanffy?

Pues bien, ahora que tenemos bosquejada la propuesta original de la TGS, podemos hacer una pregunta plenamente vigente en nuestros días, ocupando el

pensamiento de Bertalanffy para su respuesta: qué significa multidisciplinaria en la ciencia.

En su texto fundacional "An Outline of General System Theory", Bertalanffy no ocupa la palabra multidisciplinaria, como tampoco los conceptos interdisciplinaria, transdisciplinaria o similares. De hecho, él define la TGS como una disciplina.

El argumento de por qué esto es así, lo entregaremos más adelante para consideración del lector, por ahora, expondremos cómo Bertalanffy entiende la relación entre TGS y las ciencias que participan de este proyecto.

En primer lugar, dice Bertalanffy, la TGS debería ser un importante dispositivo regulador en ciencias. Desde un punto de vista metodológico, coordina la transmisión de principios de un campo científico a otro, evitando la duplicación de esfuerzos al descubrir los mismos principios en forma independiente (cuando se trabaja en forma aislada). Así, se pueden ocupar modelos de sistemas simples para abordar sistemas complejos, dado que la TGS permite regular el uso de analogías entre sistemas, evitando el uso de analogías superficiales.

En segundo lugar, continúa Bertalanffy, la TGS permite en último término la unidad de la ciencia. Existen dos maneras de lograr lo anterior. Una de ellas es abrazar el fisicalismo y la otra es asumir los postulados de la TGS. La respuesta fisicalista, todavía presente en nuestros días, señala que toda actividad científica debe basarse en el modelo de la ciencia física y las leyes que se propongan deben seguir los cánones de las leyes físicas, así, todo fenómeno, humano o social, encuentra su expresión en leyes físicas, en último término.

La TGS postula que la unidad de la ciencia no se logra por el pensamiento utópico, dice Bertalanffy, de la reducción² de todas las ciencias a la física o la química, sino por reconocer la uniformidad estructural de los diferentes niveles de la realidad. El supuesto de la TGS, si el lector quiere hacer suyo el pensamiento de Bertalanffy, es que el mundo (la totalidad de los fenómenos observables) muestra una uniformidad estructural, la que se manifiesta por trazos isomórficos de órdenes en sus diferentes niveles.

Entonces, dado que existen muchos niveles, como los sociales, los biológicos y los físicos, es mejor reconocer esta diversidad y postular leyes para cada nivel. Algunos principios serán aplicables a diferentes niveles, siendo esa la misión de la TGS, la de formularlos en un lenguaje estricto para permitir justificadamente su utilización en diferentes campos. Entender la actividad científica de esta manera, dice Bertalanffy, implica la autonomía de los diferentes niveles, los cuales poseen leyes específicas. El objetivo de la TGS, en este contexto, es facilitar la integración dinámica de todos los campos de la realidad.

² El concepto de reducción de la complejidad tendrá un sentido completamente diferente más adelante en el tiempo, cuando se desarrolle el constructivismo sistémico.

Hasta aquí el pensamiento de Bertalanffy directo. Dado que no se puede responder directamente la pregunta acerca de la relación entre multidisciplinaria y TGS desde el texto fundacional considerado, si es posible pensar cómo podría ser esta relación.

El punto de partida de esta reflexión son dos supuestos o creencias que someteremos a examen:

a) La TGS es multidisciplinaria por definición.

b) Los fenómenos naturales y sociales deben ser abordados desde perspectivas multidisciplinarias.

Son tan comunes estas creencias, que sería difícil encontrar algún científico que no las comparta. Sin embargo, es conveniente seguir con el espíritu riguroso de nuestro fundador y definir claramente estos supuestos para saber si estamos justificados en usarlos.

La pregunta inicial, entonces, es qué entendemos por multidisciplinaria en ciencias y en especial dentro de la TGS. El uso de la expresión “multidisciplinaria” refleja el estado de la cuestión, ya que existen otros conceptos ampliamente usados con —aparentemente— el mismo significado: interdisciplinaria y transdisciplinaria (o sus derivados, como interdisciplinaria, etc.). Los académicos que sostienen la creencia b), además, optan generalmente por usar uno de estos conceptos y señalan que los otros son erróneamente usados. En esta versión de la creencia, por ejemplo, un enfoque interdisciplinario es distinto a uno multidisciplinario (suponiendo que ambos conceptos se refieran a cosas distintas). Sin embargo, en las ciencias naturales y sociales existe dispersión en el uso de los conceptos, lo cual hace difícil sostener taxativamente una definición por sobre otra. La creencia, pese a ello, se mantiene. Incluso más, una versión radical de ella señala que sólo pueden ser estudiados en forma multidisciplinaria (inter o trans) los objetos de estudio de la ciencia. En resumen, de acuerdo a nuestro fundador, estamos en presencia de un concepto vago.

Empero, los científicos no deben sentirse solos en esta misión, dado que contrariamente a lo que podría parecer, la epistemología de las ciencias sociales tampoco ha abordado suficientemente el tema de la multidisciplinaria. Es, por decirlo de alguna manera, un campo emergente en la filosofía de la ciencia. Así entonces, estamos en un momento interesante, donde mucho se habla de multidisciplinaria y donde poco se sabe al respecto.

Proponemos abordar la noción de multidisciplinaria desde tres preguntas, para restar vaguedad al concepto:

- 1) ¿Debemos ser multidisciplinarios en algunos casos o siempre?
- 2) ¿El rol de las disciplinas es la integración o la preservación de su identidad?
- 3) ¿Lo que nos hace multidisciplinarios es el dominio o los supuestos?

Antes de desarrollarlos, adelantamos y proponemos que el concepto de multidisciplinaria en la TGS implica en cada pregunta optar por el segundo elemento de la dicotomía.

Primera pregunta. Para responder a esta pregunta necesitamos un criterio que nos permita saber si debemos ser multidisciplinarios sólo en algunos casos (sentido débil) o siempre (sentido fuerte). Desde el punto de vista de la TGS, la opción es por el sentido fuerte. ¿Cuál es el criterio? La estructura isomórfica de las leyes científicas. Esto es así porque los teóricos generales de sistemas (o sistémicos a secas) siempre tienen la sospecha de que los principios que pudieran estar regulando el fenómeno que están estudiando, pudieran ya haber sido descubiertos en otro campo o, también, los nuevos principios por descubrir en algún momento podrían servir a otros investigadores que estudian otras áreas. Por lo tanto, los sistémicos no pueden ser multidisciplinarios en algunos casos, sino que deben serlo siempre.

Segunda pregunta. Una de las posturas de la multidisciplinaria que se puede encontrar entre científicos y filósofos, es que el proyecto multidisciplinario tendrá como efecto la eliminación de las disciplinas, creándose así una meta-disciplina que borraría las fronteras existentes. La TGS jamás podría seguir este camino. La unidad de la ciencia no implica la eliminación de las disciplinas para la TGS, pues volveríamos a caer en aquello de lo cual escapamos en el origen, el uso de un modelo de ciencia (la física) para replicar en toda otra. Esto es así porque la TGS postula la existencia de diferentes niveles de realidad, siendo cada nivel estudiado por una disciplina en especial (o varias). La TGS es en sí también una disciplina, encargada de estudiar y proponer una coordinación de disciplinas con base en los principios estructurales sistémicos descubiertos en cada nivel y que, potencialmente, podrían ser aplicados en otros. Por lo tanto, la noción de multidisciplinaria en la TGS no implica la eliminación de las disciplinas particulares, antes bien, las potencia.

Tercera pregunta. Los científicos y filósofos de la ciencia al comenzar el siglo XXI se dividen principalmente en dos grupos al momento de responder cuál es la característica principal que define a la actividad multidisciplinaria. Para el primer grupo, lo que genera un área multidisciplinaria es que los investigadores de diferentes disciplinas están de acuerdo en un objeto de estudio y cada uno de ellos contribuye con sus investigaciones a dar cuenta de ese objeto; en otras palabras, en tanto investigadores estamos de acuerdo en que ese es nuestro dominio (cualquiera que sea) y consideramos que debemos mantenerlo. Lo que da coherencia a la investigación multidisciplinaria, en este sentido, es que los científicos formulan un conjunto de preguntas básicas sobre el objeto de estudio, mismas que las disciplinas contribuyentes se encargan de abordar desde sus especialidades. Un ejemplo de esta tendencia se puede encontrar en la Ciencia Cognitiva, de acuerdo a su definición como ciencia multidisciplinaria que da la filósofa Barbara Von Eckardt (2001).

El segundo grupo toma otro camino para definir la multidisciplina. Si bien es importante el objeto de estudio, el acento no se pone en él, sino en la manera que se ocupará para abordarlo. Esta versión postula que existen maneras definidas de abordar el objeto de estudio. En otras palabras, se comparte un conjunto de supuestos que están a la base de la investigación empírica, que guían y constriñen la actividad científica. Esto no quiere decir que los supuestos sean estáticos, pues es posible, en principio, que la comunidad científica decida, por algún mecanismo, modificar sus bases o guías. El punto es que existen referencias teóricas, metodológicas y epistemológicas (maneras de entender cómo funciona el mundo, cómo trabaja la ciencia, etc.) que no todos pueden estar dispuestos a aceptar. Aquellos que acepten esta invitación en función de los supuestos, estarán en un programa multidisciplinario.

El consenso se genera por la aceptación del modo de proceder. En otras palabras, consenso no quiere decir que cualquier investigador o disciplina puede entrar al dominio para participar en la definición del consenso, sino más bien aquí consenso quiere ya decir aceptación del consenso. En otras palabras, los investigadores iniciales o la comunidad científica en funcionamiento, definen un conjunto de supuestos sustantivos y metodológicos, de alguna manera, los cuales pueden ser aceptados por un investigador o una disciplina particular. La aceptación del consenso previo es la condición necesaria para una investigación multidisciplinaria.

¿Quién define estos supuestos? Una disciplina en particular, denominada Teoría General de Sistemas. En primer lugar, ella extiende su invitación a todas aquellas disciplinas que trabajen con sistemas de cualquier tipo. Así, si un investigador o una disciplina no trabaja con sistemas, no tiene por qué aceptar esta invitación. Luego, la TGS propone un conjunto de conceptos y principios básicos (supuestos) que permiten guiar la actividad científica. El carácter multidisciplinario comienza por la aceptación de este consenso previo.

La TGS no podría entender la multidisciplina como el primer grupo, dado que si bien posee un dominio (sistemas) y preguntas básicas (¿cuáles son los principios que regulan los sistemas?), no está de acuerdo con una consecuencia que se deriva de aceptar la multidisciplina como dominio, esto es, que epistemologías contradictorias participen del proyecto, dado que para esa definición lo más importante es mantener el dominio en marcha, no importando las contradicciones que se generen entre las disciplinas. Al contrario, la TGS, para llevar adelante su objetivo de unidad de la ciencia, postularía que el carácter multidisciplinario de la actividad científica se encuentra en los supuestos compartidos por las disciplinas que tienen como objeto de estudio los sistemas de cualquier tipo.

Hasta aquí, entonces, el desarrollo de la relación entre TGS y multidisciplina. Corresponde avanzar a la siguiente sección que desarrolla los aportes que

continuaron con la propuesta original y que hacen de la TGS un paradigma en todo el sentido del término.

2. Los siguientes aportes de la TGS

La propuesta original de la TGS rápidamente recibió diversos aportes, y pronto comienzan a formarse distintas tendencias agrupadas en torno a los intereses científicos o tecnológicos de los investigadores. Una de las corrientes que mayores aportes hizo, llegando a ser indiferenciable de la Teoría General de Sistemas, fue la cibernética.

El concepto cibernética fue introducido en el lenguaje científico por el matemático y filósofo Norbert Wiener (1894-1964), quien lo extrajo del término griego *kybernetes*, cuyo significado original denota un tipo de control, específicamente: gobernar. La cibernética concierne a los problemas de la organización y los procesos de control (retroalimentación) y transmisión de informaciones, tanto en máquinas como en sistemas vivos. Su modelo se acopla con las sofisticadas teorías de la información, desde donde se analizan los problemas de la comunicación, codificación, decodificación, ruidos, canales, redundancia y muchos otros, los que a partir de los trabajos de Claude Shannon y Warren Weaver, adquieren forma como una teoría matemática de la comunicación (Shannon, 1948).

Inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial, las aplicaciones de la cibernética en el campo de la ingeniería fueron considerables: generalización de los termostatos en los aparatos de uso industrial y doméstico; pilotos automáticos en la aeronavegación; robots en el campo de la industria, edificios inteligentes, servofrenos, etc. En otras palabras: máquinas controladas por máquinas.

Enfatizando indistintamente los problemas de control o los de comunicación, numerosos científicos trabajaron, directa o indirectamente, con las nociones cibernéticas y, a la vez, aportaron nuevas distinciones, a partir de sus específicas experiencias y campos disciplinarios. Las proyecciones del modelo cibernético pasaron a ser decididamente multidisciplinarias, pudiendo encontrarse aplicaciones en campos de la biología, la psicología, la lingüística, la antropología, la economía, la politología, la pedagogía, la ingeniería, la medicina y la sociología, entre otras.

La preocupación expresada por Wiener en su obra *Cibernética: Control y comunicación en el animal y la máquina* (1948), impulsó investigaciones vinculadas a la automatización, a los procesos autocorrectivos, a la computación y a la tecnología de la inteligencia artificial. Consideraba que todas las comunicaciones corresponden a una misma categoría, por cuanto no hay grandes diferencias en las situaciones en que se ordena algo a una persona o se indica algo a una máquina. En ambos casos, el emisor de la orden percibe tanto la emisión de ésta como las señales de aceptación. El hecho de que en sus etapas intermedias la señal haya pasado por una máquina o por una persona carece de importancia, y de ninguna

manera cambia la noción de señal. De este modo, la teoría de la regulación en ingeniería, ya sea humana, animal o mecánica, sería un capítulo de la teoría de los mensajes (Wiener, 1958: 16).

Wiener conecta a la cibernética con la preocupación respecto a la entropía, es decir, con la tendencia mostrada por el universo de pasar de estados menos probables a estados más probables como la desorganización, el caos y la pérdida de identidad. Sin embargo, como lo apreció Bertalanffy, a pesar de la entropía, hay puntos dentro del universo en los cuales parece revertirse temporalmente, ya que en ellos parecen aumentar la organización y la diferenciación (Wiener, 1958: 14).

La cibernética trabaja con un modelo de sistema que recibe información del entorno (input), la procesa internamente y entrega otra información (output) al entorno. La información acerca de los resultados de este proceso ingresa nuevamente al sistema por medio de un circuito de retroalimentación, permitiendo así que el sistema modifique su comportamiento subsiguiente, al comparar su programa inicial con su propia respuesta y la información recibida del mundo circundante. Para Wiener, aunque el comportamiento de sistemas dotados de sensores se regula desde el exterior, está en su estructura lo que puede esperarse de ella (1958: 54). Se desprende así un antecedente de la teoría de la autopoiesis respecto a la organización y la importancia de la estructura en las posibilidades operacionales de los sistemas.

El modelo cibernético fue enriquecido por Magoroh Maruyama (n. 1929), quien describe los mecanismos de retroalimentación que permiten a los sistemas autodirigirse y autorregularse, manteniendo homeostáticamente algunas variables constantes o variando morfogénicamente otras. Maruyama critica la excesiva importancia dada a los procesos de retroalimentación negativa, que contribuyen a disminuir la desviación de un sistema respecto a los objetivos de su planeación inicial, olvidándose de los procesos de retroalimentación positiva, que son amplificadores de las desviaciones.

El concepto de morfogénesis refiere a procesos sistémicos que aumentan las desviaciones produciendo nuevas formas, y se encuentra en el crecimiento y la diferenciación. Por ejemplo, en el desarrollo a partir de un embrión, que parecería estar basado en una planificación determinística muy detallada, basta con que los genes lleven un conjunto de reglas para procesar información. Así, la información no contenida al comienzo del proceso, es generada a lo largo de interacciones. En los procesos sociales, se observan relaciones equivalentes. Aumentos en el número y concentración de personas lleva a un incremento de la urbanización, que provoca un aumento de la migración a la ciudad, lo que causa, a su vez, un crecimiento de su población y así sucesivamente. Es decir, un aumento provoca un incremento aún mayor a través de la urbanización y la migración. Se trata, en consecuencia, de un proceso de autocausación, donde cada componente influye sobre los demás y cada elemento influye sobre sí mismo a través de los otros componentes.

Estas ideas fueron ampliamente acogidas y muchas explicaciones de las ciencias humanas y sociales se apoyaron en ellas. Así, por ejemplo, el antropólogo Gregory Bateson (1990: 173) alude a procesos de retroalimentación positiva cuando explica las relaciones sociales gráficamente como un zigzag, donde lo dicho por una persona genera respuestas que, a su vez, provocan nuevas respuestas y así sucesivamente, hasta concluir en situaciones totalmente distintas a la original.

Entre otros aportes de la cibernética a la Teoría General de Sistemas, destacan los de William Ross Ashby (1903-1972). Este interesado en la relación sistema/entorno acuñó su famosa ley de la variedad necesaria (*requisite variety*), según la cual sólo la variedad puede destruir la variedad, de donde la relación sistema/entorno queda definida como una relación entre distintas complejidades. Su interés central era el problema de las cantidades de información involucradas en la relación entre el sistema y el entorno y, por ende, en la capacidad selectiva del sistema.

Las nociones de diferencia de complejidad y el concepto de variedad constituyen una versión más sofisticada de la teoría de los sistemas trabajada por la cibernética. Sus principios son los siguientes:

1. La variedad del entorno (el número de estados posibles que pueden alcanzar sus elementos) es prácticamente infinito.
2. Las posibilidades de igualación de esta variedad por parte de un sistema cualquiera son nulas, pues si ello fuera posible, éste no existiría, dado que diluiría su identidad en el entorno, lo cual significa que no puede existir relación punto por punto entre un sistema y su entorno.
3. La única posibilidad de relación entre un sistema y su entorno consiste en que el sistema, dada su limitada capacidad, debe absorber selectivamente aspectos de su entorno.
4. Los mecanismos reductores de la variedad ambiental, que se ubican en las corrientes de entrada de un sistema, pueden ser dispositivos estructurales al sistema, resultados de la automatización de respuestas frente al entorno o de decisiones internas o externas del sistema.
5. Si bien la selección de entradas tiene por función el mantenimiento del equilibrio e identidad de los sistemas, éstos corren el riesgo de no poder reaccionar ante determinados cambios en el entorno.
6. En todo caso, es evidente que entradas superiores a la capacidad de procesamiento del sistema actúan disminuyendo su capacidad de relacionarse con el entorno.
7. Los procesos reductores de la variedad son procesos dinámicos –como el equilibrio, que es igualmente dinámico– e inciden en la aparición o desaparición de los sistemas abiertos.

Otro nombre de importancia en la investigación sistémica es el de Heinz von Foerster (1911-2002). Este físico austriaco, que trabajó en el laboratorio de computación biológica del departamento de biofísica y fisiología de la Universidad de Illinois, hizo significativas contribuciones en epistemología y cognición. Su preocupación original por comprender el fenómeno de la memoria y los sistemas autoorganizados lo llevó a una original propuesta, que parte afirmando que si se desea hablar de sistemas capaces de organizarse a sí mismos, de marchar contra la tendencia entrópica, es esencial la consideración del entorno. La noción de sistema autoorganizador no tiene sentido alguno, a menos que se encuentre en estrecho contacto con un entorno poseído de energía y orden disponibles. Este contacto estrecho requiere una interacción tal que el sistema de alguna forma “vive” a expensas de su entorno.

Una importante distinción elaborada por von Foerster es la de “máquinas triviales” y “máquinas no triviales”. Las primeras son artefactos altamente confiables y predecibles que responden con el mismo *output* cada vez que reciben un mismo *input*. En otras palabras, no modifican su comportamiento con la experiencia. Ejemplos de máquinas triviales se encuentran en el funcionamiento de un automóvil, el interruptor de la luz y las explicaciones causales. Las segundas, en cambio, tienen comportamientos que aparecen como erráticos e impredecibles. Frente a un mismo input pueden entregar outputs totalmente diferentes. Parecería que se trata de máquinas no determinadas, pero se trata de sistemas que tienen un estado interno que cambia cada vez que computan un output, operan recursivamente y cada vez que lo hacen cambian sus reglas de transformación. Son sistemas totalmente determinados, sólo que nos resulta imposible predecir sus cambios de estado, aquí estamos en presencia de sistemas humanos y sociales.

Cuando Walter Buckley publica *La Sociología y la Teoría Moderna de Sistemas* (1973), se concreta un nuevo traspaso de la teoría general de sistemas a las ciencias sociales. Su tema central es la pertinencia de aplicar a los fenómenos sociales modelos de sistemas mecánicos y orgánicos. El modelo mecánico concibe los sistemas como un conjunto de elementos en interrelación, cuyo objetivo es el equilibrio interno y externo. El modelo orgánico concibe los sistemas en términos de la interdependencia de sus elementos en beneficio de la sobrevivencia del todo del cual forman parte. Buckley declara que estos modelos son inadecuados para abordar los sistemas socioculturales, pues constituyen una clase diferente de sistemas, con principios de operación morfogénicos distintos a los mecánicos y biológicos. Mientras el estado probable de los sistemas físico mecánicos es el equilibrio, y de los sistemas biológicos es el de la conservación de su estructura a través de mecanismos homeostáticos, los sistemas psicológicos, sociales y culturales cambian permanentemente sus relaciones con sus entornos. Estos cambios incluyen tanto el paso a nuevos niveles de complejidad y equilibrio como una modificación de sus

estructuras. De este modo inicia una teoría general de sistemas socioculturales, entroncada con teorías antropológicas y sociológicas.

Buckley señala que los elementos de los sistemas socioculturales exhiben una organización más compleja e inestable que otros sistemas, y denomina esa cualidad "complejidad organizada", cuyo efecto es el aumento de la variedad interna de los sistemas. Es decir, el número de sus estados posibles es bastante alto, originando "estructuras" fluidas capaces de cambiar su estructura si las condiciones ambientales lo requieren, asegurándose así el mantenimiento de la supervivencia y eficiencia del sistema. Pero no sólo los intercambios entre el sistema y el entorno pueden conducir a cambios en el sistema, también los intercambios entre los componentes del sistema pueden llevar a modificaciones en éste. Respecto a la cibernética, este modelo acepta distinciones, tales como los de morfostasis y morfogénesis, pero los reelabora: no sólo hay procesos morfostáticos y morfogénicos referidos a distintas retroalimentaciones, sino que una misma retroalimentación puede desencadenar ambos procesos en un mismo sistema.

Los sistemas sociales complejos pueden observarse diferenciados en subsistemas, cada uno con propósitos propios que, asimismo, pueden estar referidos a suprasistemas. Específicamente, los sistemas sociales incluyen en sus diseños tanto componentes instrumentales para atender a la consecución de sus objetivos (logro de metas y adaptación), como consumatorios destinados a sostener las condiciones que le permiten tal desenvolvimiento (mecanismos de coordinación e integración). Un desbalance entre éstos afecta la viabilidad del sistema en su conjunto. Estos principios de diferenciación tienen relación con los siguientes requisitos funcionales desarrollados por Talcott Parsons (1902-1978):

- a) Adaptarse a sus entornos (subsistema adaptativo)
- b) Alcanzar los objetivos o fines perseguidos (subsistema de procuramiento de metas)
- c) Contar con dispositivos que aseguren su cohesión (subsistema de integración)
- d) Mantener su identidad (subsistema de mantenimiento cultural)

Hasta aquí la presentación de algunos aportes desarrollados hacia finales del siglo XX en la TGS. Hemos revisado las bases epistemológicas principales del paradigma y nos corresponde finalizar con la presentación sumaria de los conceptos principales de la TGS.

3. Glosario de la Teoría General de Sistemas

AUTOCAUSACIÓN

Como destaca Krippendorf (1989), la más fértil de las ideas que se originan en la cibernética es la de circularidad: cuando A causa B y B causa C, pero C causa A, luego, en lo esencial, A es autocausado y el conjunto A, B y C se define prescindiendo

de variables externas, como un sistema cerrado. Estos procesos están presentes en todo sistema que se autorregule: temperatura controlada por termostatos, robótica, aprendizaje programado o en oratoria, cuando el orador modifica su presentación “monitoreando” la receptividad de su discurso en la audiencia. Se trata, en definitiva, de una nueva teleología, donde las formas de organización y las metas (outputs) se definen en su relación mutua. Justamente los procesos circulares que originan los circuitos de retroalimentación de un sistema permiten incorporar las nociones de estabilidad o morfostasis con la retroalimentación negativa y las de morfogénesis o desviación con la retroalimentación positiva. Estos procesos se combinan con sofisticadas teorías de la información y allí se analizan en detalle los problemas de la comunicación, codificación, decodificación, ruidos, canales, redundancia y muchos otros, los que a partir de la obra de Shannon y Weaver adquieren la forma de una teoría matemática de la comunicación (Shannon, 1948).

COMPLEJIDAD

Indica la cantidad de elementos de un sistema, sus potenciales interacciones (conectividad) y el número de estados posibles que se producen a través de éstas (variabilidad indica el máximo de relaciones posibles: $n!$). Una versión más sofisticada de la TGS se funda en las nociones de diferencia de complejidad y variedad. Estos fenómenos fueron desarrollados por la cibernética y están asociados a los postulados de Ashby, donde se sugiere que el número de estados posibles que puede alcanzar el entorno es prácticamente infinito. Según esto, no habría sistema capaz de igualar tal variedad, puesto que si así fuera, la identidad, es decir, su diferencia, se diluiría.

DIFERENCIACIÓN

El desarrollo de un sistema implica su especialización funcional, es decir, procesos de elaboración de nuevos componentes. Bertalanffy señala que durante el proceso de diferenciación, los organismos pasan por estados de heterogeneidad progresiva. Originalmente los sistemas están formados por partes totipotenciales, pero durante su desarrollo surge, a partir de la interacción dinámica de los componentes, un cierto orden que impone restricciones y especialización de estas partes con respecto al sistema, con lo cual pierden su potencialidad multifuncional. Lo anterior quiere decir que en los procesos diferenciadores, las pautas globales difusas son reemplazadas por funciones especializadas.

DOBLE BUCLE

Este concepto remite a los dispositivos con que cuentan los sistemas cuando incluyen observaciones acerca de lo apropiado —o no— de sus normas de operación, y se relacionan con los fines y estrategias organizacionales, como especificaciones de lo que debe hacerse (rutas) o especificaciones de lo que se espera. Estas últimas favorecen la innovación, estimulando las capacidades de respuestas endógenas y creativas.

ENTORNO

El entorno refiere al área de sucesos y condiciones que influyen sobre el comportamiento de un sistema. En lo que a complejidad se refiere, nunca un sistema puede igualarse con el entorno y seguir conservando su identidad. La única posibilidad de relación entre un sistema y su entorno implica que el primero debe absorber selectivamente aspectos de éste. Sin embargo, esta estrategia tiene la desventaja de especializar la selectividad del sistema respecto a su entorno, lo que disminuye su capacidad de reacción frente a los cambios externos. Esto último incide directamente en la aparición o desaparición de sistemas abiertos.

EQUIFINALIDAD

La equifinalidad indica la capacidad, demostrada por los sistemas abiertos, de llegar a un mismo fin partiendo de distintas condiciones iniciales. El proceso inverso, llegar a distintos fines desde un mismo punto de partida, se denomina multifinalidad (Buckley 1973). El fin en los sistemas abiertos refiere a el mantenimiento de un estado de equilibrio fluyente que implica, necesariamente, la importación de recursos energéticos, materiales o informativos provenientes del entorno. Con este marco de referencia, todos los sistemas son funcionalmente equivalentes, en tanto tienden al equilibrio y desarrollan sus mecanismos y operaciones con tal objeto.

EQUILIBRIO

Los estados de equilibrio pueden ser alcanzados en los sistemas abiertos por diversos caminos, esto se denomina equifinalidad y multifinalidad. El mantenimiento del equilibrio en sistemas abiertos implica necesariamente la importación de recursos provenientes del entorno. Estos recursos pueden consistir en flujos energéticos, materiales o informativos.

EMERGENCIA

Refiere a que la descomposición de sistemas en unidades menores avanza hasta el límite en el que surge un nuevo nivel que lo hace corresponder a otro sistema cualitativamente diferente. Edgard Morin señala que la emergencia de un sistema indica la posesión de cualidades y atributos que no se sustentan en partes aisladas y que, por otro lado, los componentes de un sistema actualizan propiedades y cualidades que sólo son posibles en el contexto de un sistema dado. Esto significa que las propiedades immanentes de los componentes sistémicos no pueden aclarar su emergencia.

ESTRUCTURA

Las interrelaciones más o menos estables entre las partes o componentes de un sistema y que pueden ser identificadas en un momento dado, constituyen su estructura. Según Buckley (1973) las clases particulares de interrelaciones, más o menos estables, de los componentes sistémicos constituyen su estructura particular

en ese momento, alcanzando de tal modo una suerte de “totalidad” dotada de cierto grado de continuidad y de limitación.

FUNCIÓN Y SERVICIO

Se denomina función al output de un sistema que está dirigido a la conservación del sistema mayor en el que se encuentra inscrito. Servicios o prestaciones son los outputs de un sistema que van a servir de inputs a otros sistemas o subsistemas equivalentes.

HOMEOSTASIS

Este concepto está especialmente referido a los organismos vivos en tanto sistemas adaptables. Los procesos homeostáticos operan ante variaciones de las condiciones del entorno, corresponden a las compensaciones internas que sustituyen, bloquean o complementan estos cambios con el objeto de mantener invariante la estructura sistémica, es decir, hacia la conservación de su forma. La conservación de formas dinámicas o trayectorias se denomina homeorrosis (sistemas cibernéticos).

INFORMACIÓN

Se pueden diferenciar las relaciones que establecen los sistemas abiertos de acuerdo a los distintos comportamientos que tienen las transferencias energéticas, materiales e informativas que componen sus intercambios. La información, que es la más importante de las corrientes de que disponen los sistemas complejos, opera negentrópicamente (no es una suma constante, pues agrega y no elimina), pues su comunicación no elimina la información del emisor o fuente. En términos formales, la cantidad de información que permanece en el sistema es igual a la información que existe más la que entra, es decir, hay una agregación neta en la entrada y la salida, pero no es eliminada la información del sistema. Mientras la energía y la materia son afectadas por la entropía, la información es especificidad e improbabilidad y por lo tanto revierte la entropía. La teoría de la información de Shannon y Weaver (1948) destaca el valor de la novedad en la información: un mensaje tiene mayor valor informático cuando su probabilidad es menor —“nevó en el desierto”— o cuando es más específico —“pesa 3.752 gramos”— o cuanto más probable es el mensaje, menos información contiene (Wiener).

INPUT / OUTPUT (modelo de)

Los conceptos de *input* y *output* nos aproximan instrumentalmente al problema de los límites en los sistemas abiertos. Se dice que los sistemas que operan bajo esta modalidad son procesadores de entradas y elaboradores de salidas. Se denomina input a la importación de los recursos (energía, materia, información) que se requieren para dar inicio al ciclo de actividades del sistema. Se denomina output a las corrientes de salidas de un sistema y pueden diferenciarse según su destino en funciones o servicios.

INTERRELACIONES

Que un sistema sea abierto significa que establece intercambios permanentes con su entorno. Las relaciones entre los elementos de un sistema o entre éste y su entorno son vitales para la comprensión de los sistemas vivos, pues desde la conservación de las relaciones se explica su viabilidad. Los sistemas dependen de la importación, procesamiento e intercambio de energía, materia o información obtenida en sus entornos. A través de tales intercambios, que pueden ser reales o ideales, activos o latentes, naturales o artificiales, recíprocos o unidireccionales, determinan su equilibrio y continuidad. Varias distinciones se utilizan para identificar estos procesos: funciones, servicios, prestaciones, efectos recíprocos, asociaciones, interdependencias, comunicaciones, coherencia, conectividad, etc. Estas relaciones pueden representarse como una red estructurada a través del esquema input / output.

LÍMITES

Los sistemas consisten en totalidades y, por lo tanto, son indivisibles como sistemas. Poseen partes y componentes, pero éstos son otras totalidades (emergencia). En algunos sistemas, sus límites coinciden con discontinuidades estructurales entre éstos y sus entornos, pero corrientemente la demarcación de los límites sistémicos queda en manos de un observador. En términos operacionales, puede decirse que la frontera del sistema es aquella línea que separa al sistema de su entorno, definiendo lo que le pertenece y lo que queda fuera de él.

MODELO

Los modelos son construidos y diseñados por un observador que persigue identificar y mensurar relaciones sistémicas complejas. Todo sistema real tiene la posibilidad de ser representado en más de un modelo. La decisión, en este punto, depende tanto de los objetivos del modelador, como de su capacidad para distinguir las relaciones relevantes con relación a tales objetivos. La esencia de la modelística sistémica es la simplificación. El metamodelo sistémico más conocido es el esquema input-output.

MORFOGÉNESIS

Refiere a las capacidades para elaborar o modificar formas con el objeto de conservarse viables (retroalimentación positiva). Se trata de procesos que apuntan al desarrollo, crecimiento o cambio en la forma, estructura y estado del sistema. En términos cibernéticos, los procesos causales mutuos que aumentan la desviación son denominados morfogenéticos.

MORFOSTASIS

Refiere a procesos de intercambio con el entorno que tienden a preservar o mantener una forma, una organización o un estado dado de un sistema (equilibrio,

morfostasis, retroalimentación negativa). En una perspectiva cibernética, la morfostasis nos remite a los procesos causales mutuos que reducen o controlan las desviaciones.

NEGENTROPÍA/ ENTROPÍA

Estas distinciones provienen de los principios fundamentales de la termodinámica: la conservación de la energía y la entropía. El primero hace referencia a que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma; el segundo refiere al cambio cualitativo e irreversible que sufre la energía cuando es sometida a un proceso físico y establece que la máxima probabilidad de los sistemas es su progresiva desorganización y, finalmente, su homogeneización con el entorno. Los sistemas cerrados están irremediabilmente condenados a la desorganización. Desde el segundo principio de la termodinámica se establece que los procesos naturales tienden al aumento del grado de desorden conocido como entropía. En una definición más técnica, podemos entender a la entropía con un estado aleatorio de la energía que la hace no disponible para realizar trabajos. No obstante, hay sistemas que (al menos temporalmente) revierten esta tendencia al aumentar sus estados de organización. Específicamente, los sistemas vivos parecen contradecir esta ley al conservarse su organización en un estado de alta improbabilidad. Más aún, Bertalanffy señala que durante el proceso de diferenciación un organismo pasa por estados de heterogeneidad progresiva. Este fenómeno se explica porque los sistemas abiertos son capaces de importar energía y, así, de importar la entropía negativa o negentropía que les permite mantener un estado estable y altamente improbable de organización, e incluso desarrollar niveles más altos de organización e improbabilidad. Para el caso de los sistemas que operan información, Wiener establece que la entropía es el negativo de información, por lo tanto: a mayor información, menor entropía.

ORGANIZACIÓN

Wiener planteó que la organización debía concebirse como una interdependencia de distintas partes organizadas, pero una interdependencia que tiene grados. Ciertas interdependencias internas son más importantes que otras, lo cual equivale a decir que la interdependencia interna no es completa. Por lo cual, la organización sistémica se refiere al patrón de relaciones que definen los estados posibles (variabilidad) para un sistema determinado.

RELACIONES

Las relaciones internas y externas de los sistemas han tomado diversas denominaciones. Entre otras: efectos recíprocos, interrelaciones, organización, comunicaciones, flujos, prestaciones, asociaciones, intercambios, interdependencias, coherencias, etcétera. Las relaciones entre los elementos de un sistema y su entorno son de vital importancia para la comprensión del comportamiento de sistemas vivos. Las relaciones pueden ser recíprocas o unidireccionales. Presentadas en un momento

del sistema, las relaciones pueden ser observadas como una red estructurada bajo el esquema input-output.

SISTEMAS ABIERTOS

Se trata de sistemas que importan y procesan elementos (energía, materia, información) de sus entornos y esta es una característica propia de todos los sistemas vivos. Que un sistema sea abierto significa que establece intercambios permanentes con su entorno a través de los cuales determina su equilibrio, capacidad reproductiva o continuidad, es decir, su viabilidad.

SISTEMAS CERRADOS

Un sistema es cerrado cuando ningún elemento de afuera entra y ninguno sale del sistema. Estos sistemas alcanzan su estado máximo de equilibrio al igualarse con el medio. En ocasiones el concepto de sistema cerrado se aplica a sistemas que se comportan de una manera fija, rítmica o sin variaciones, como sería el caso de los circuitos cerrados.

SISTEMAS CIBERNÉTICOS

Son aquellos que disponen de dispositivos internos de autorregulación que reaccionan ante informaciones de cambios en el entorno, elaborando respuestas variables que contribuyen al cumplimiento de los fines instalados en el sistema.

SISTEMAS TRIVIALES Y SISTEMAS NO TRIVIALES

Las “máquinas triviales” son artefactos que responden con el mismo output cada vez que reciben un mismo input. No modifican su comportamiento con la experiencia. Las “máquinas no triviales” aparecen como erráticas e impredecibles. Frente a un mismo input pueden entregar outputs totalmente diferentes. Son sistemas cuyos estados internos cambian cada vez que computan un output, están totalmente determinados, sólo que nos resulta imposible predecir sus cambios de estado.

SISTEMAS (dinámica de) (J. W. Forrester)

Comprende metodologías para la construcción de modelos de sistemas sociales, que establecen procedimientos y técnicas para el uso de lenguajes formalizados. Sus pasos son los siguientes:

- a) Observación del comportamiento de un sistema real.
- b) Identificación de los componentes y procesos fundamentales del mismo.
- c) Identificación de las estructuras de retroalimentación que permiten explicar su comportamiento.
- d) Construcción de un modelo formalizado sobre la base de la cuantificación de los atributos y sus relaciones.
- e) Introducción del modelo en un computador.
- f) Trabajo del modelo como modelo de simulación.

SINERGIA O TOTALIDAD

Indica que los sistemas tienen características propias y una identidad no reducible a las propiedades o características de sus componentes. Este postulado aristotélico de que el todo es más que la suma de las partes refiere a fenómenos que tienen una identidad que va más allá de sus componentes. Lo importante es la relación. La totalidad apunta a la conservación del todo por la acción recíproca de las partes componentes. Puede señalarse que la sinergia es la propiedad común a todas aquellas cosas que observamos como sistemas. Todo sistema es sinérgico en tanto el examen de sus partes en forma aislada no puede explicar o predecir su comportamiento. La sinergia es, en consecuencia, un fenómeno que surge de las interacciones entre las partes o componentes de un sistema.

SUBSISTEMA

Se entiende por subsistemas a conjuntos de elementos y relaciones que responden a estructuras y funciones especializadas dentro de un sistema mayor. En términos generales, los subsistemas tienen las mismas propiedades que los sistemas y su delimitación es relativa a la posición del observador de sistemas y al modelo que tenga de éstos. Desde este ángulo se puede hablar de subsistemas, sistemas o supersistemas, en tanto éstos posean las características sistémicas.

RETROALIMENTACIÓN

La retroalimentación se define como la propiedad de ajustar la conducta futura a hechos pasados (Wiener, 1958: 31). Esto quiere decir que un sistema, mediante el mecanismo de retroalimentación, regula su comportamiento de acuerdo con su funcionamiento real y no en relación con lo que se espera de él. En otras palabras, se autorregula recogiendo información sobre los efectos de sus decisiones en el entorno. Como el tipo de información es seleccionado, estructural y selectivamente, por los sistemas a través de una codificación, se explica por qué algunos de ellos parecen ignorar señales del entorno que parecen muy evidentes a otros observadores.

RETROALIMENTACIÓN O FEEDBACK NEGATIVO (PRIMERA CIBERNÉTICA)

Los intercambios con el entorno que tienden a la preservación de la forma (mosfostasis), organización (homeostasis) o estado dado del sistema, refieren al equilibrio dinámico y se denominan retroalimentaciones negativas. Estos procesos ocurren cuando los sistemas que cuentan con capacidades para percibir sus entornos relevantes y que disponen de programas o normas operativas de ruta perciben informativamente sus efectos en el entorno, comparan esos efectos con sus programas o normas operativas para detectar las desviaciones y tienen capacidades para corregir desviaciones significativas, de acuerdo a lo consignado en sus programas o normas. Los procesos que reducen la desviación pueden asimilarse a la morfostasis. Éstos buscan el mantenimiento de la forma y el mantenimiento de la identidad de los sistemas a lo largo del tiempo.

RETROALIMENTACIÓN O FEEDBACK POSITIVO (SEGUNDA CIBERNÉTICA)

Los procesos de intercambio pueden ser afectados por pequeñas desviaciones, que pueden generar desviaciones de probabilidades muy bajas, pero que se autopotencian en sus relaciones mutuas. Esos casos se designan con los conceptos de morfogénesis o retroalimentación positiva, aprendizaje, cambio o desarrollo. Los procesos que conducen a aumentos de la desviación inicial son bastante frecuentes, por ejemplo, la acumulación de capital en la industria, la evolución de los seres vivos, el surgimiento de tipos culturales, el crecimiento de las ciudades, los procesos interpersonales conducentes a enfermedades mentales, los conflictos internacionales, fenómenos calificados como “círculos viciosos” y los definidos como de “intereses compuestos”. En términos generales, caen en esta categoría todos los procesos de relaciones mutuas causales que amplifican una modificación inicial accidental, a menudo insignificante, conduciéndola a una gran diferencia respecto a las condiciones iniciales, es decir, la generación de nuevas formas. El modelo de la denominada Segunda Cibernética se desarrolla observando los fenómenos de amplificación de las desviaciones como la diferenciación, el crecimiento y la acumulación (Maruyama, 1968: 304).

VIABILIDAD Y VARIEDAD

La variedad comprende el número de elementos discretos en un sistema (v = cantidad de elementos). El requisito de la variedad desarrollado por Roy Asbhy señala que sólo la variedad puede destruir a la variedad, pero como los sistemas no pueden responder a todos los estímulos que se presentan en sus entornos, deben aplicar mecanismos que reduzcan esa variedad. A través del concepto de viabilidad, se pueden indicar las capacidades que desarrolla un sistema para responder y anticiparse a la variedad significativa de su entorno. La condición de variedad se relaciona con la cantidad de estados posibles disponibles por un sistema. Cuando el sistema, como sistema adaptativo, adquiere cualidades que permiten discriminar y actuar sobre la variedad ambiental, significa que delineó internamente en su organización y en su estructura parte de la variedad del entorno. La viabilidad indica una medida de la capacidad de sobrevivencia y adaptación de un sistema a un medio en cambio. La viabilidad de los sistemas (Beer, 1970) tiene estrecha relación con esta reducción, en tanto un sistema es viable cuando es capaz de responder a la variedad significativa de su ambiente y de anticiparse a su variedad potencial.

Bibliografía

Arnold, M. y Osorio, F.

1998 Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta Moebio* 3: 2-12.

Bateson, G.

1990 *Espíritu y Naturaleza*. Buenos Aires: Amorrortu Editores.

1970. *Decisions and Control*. London: Wiley.

Bertalanffy, L.

1950 An Outline of General Systems Theory. *British Journal for the Philosophy of Science* 1: 139-164.

Bertalanffy, L., Hempel, C., Bass, G. R. E. y Jonas, H.

1951 **General System Theory: A new approach to unity of science**. *Human Biology* 23: 302-361.

Bertalanffy, L.

1968 *General System Theory. Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.

Buckley, W.

1973. *La Sociología y la Teoría General de Sistemas*. Buenos Aires: Amorrortu Editores.

Krippendorff, K.

1989 "Cybernetics". En: Erik Barnouw (Ed.) *International Encyclopedia of Communications* Vol. 1. New York: Oxford University Press. pp. 443-446.

Maruyama, M.

1968 The Second Cybernetics: Derivation amplifying mutual causal processes. En: W. Buckley (ed.) *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*. Chicago: Aldine. pp. 304-313.

Shannon, C.

1948 "A mathematical theory of communication". *The Bell System Technical Journal* 27: 379-423.

Marcelo Arnold y Francisco Osorio

Von Eckardt, B.

2001 Multidisciplinarity and Cognitive Science. *Cognitive Science* 25: 453-470.

Wiener, N.

1948 *Cybernetics: Control and Communication in the Animal and the Machine*.
New York: John Wiley & sons, Inc.

Wiener, N.

1958 (1950) *Cibernética y Sociedad*. Buenos Aires: Sudamericana.