

CONTENIDO

Artículos

1. Universidad, sistemas educativos y carreras académicas: un enfoque sistémico..... 13-36
Herrera, Rodolfo.
2. Sistema y lo sistémico en el pensamiento contemporáneo 37-52
Herrera, Rodolfo.
3. Propiedades a compresión de la mampostería de bloques de concreto..... 53-70
Navas, Alejandro.
4. Capacidad estructural de juntas T de perfiles de acero laminado en frío 71-86
Romanjek, Marija.
5. Control adaptivo utilizando programación dinámica heurística..... 87-102
Gólcher, Luis.
6. Análisis de la capacidad de drenado de celulosa de bagazo de caña..... 103-113
Aguilar, Noé.

Notas técnicas

1. Evaluación de los modelos utilizados en los estudios del control PID..... 117-129
Alfaro, Víctor.
2. Cálculo para Costa Rica de la aceleración de la gravedad y su incertidumbre aplicando el método de Monte Carlo a la Fórmula Internacional de la Gravedad..... 131-138
Paniagua, Carlos.
3. Traducción del resumen de la octava edición del SI brochure 139-143
Paniagua, Carlos.

Análisis y comentarios

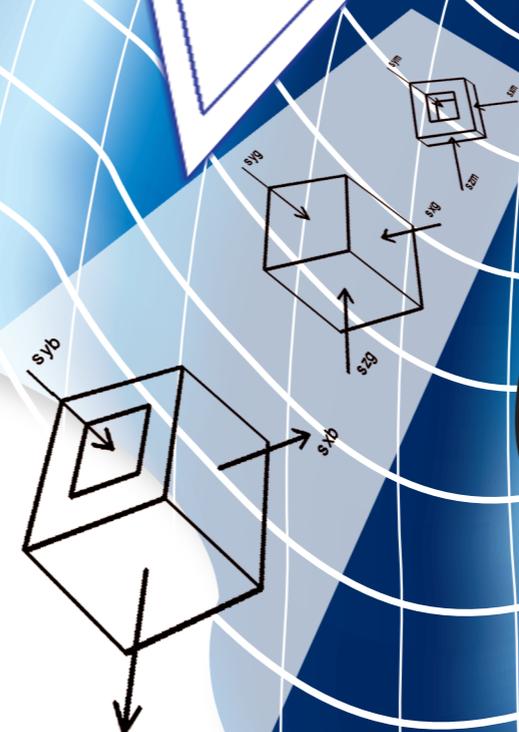
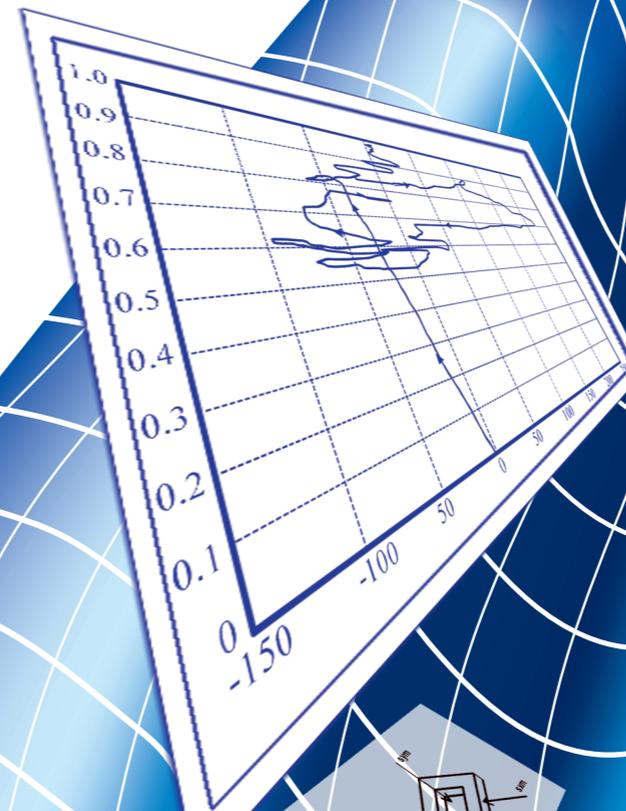
1. Reseña del libro La modernización entre cafetales. San José, Costa Rica, 1880:1930 147-149
Sanou, Ofelia.

Trabajos de Graduación 2007

- Lista de proyectos de graduación de grado y posgrado del año 2007 de la Facultad de Ingeniería 153-170

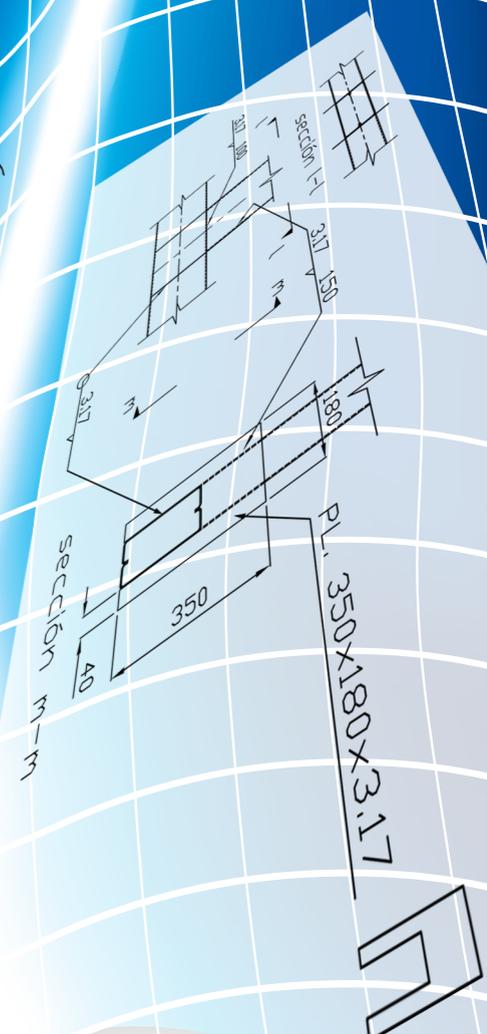
Normas

- Normas para la presentación de artículos a la Revista Ingeniería..... 173-180



INGENIERÍA

UCR



SISTEMA Y LO SISTÉMICO EN EL PENSAMIENTO CONTEMPORÁNEO

Rodolfo Herrera J.

Resumen

El desarrollo del pensamiento basado en el concepto central de *sistema* ha influenciado a todos los campos de la ciencia y tecnología. Los términos de "sistema", "sistematicidad", "sistémico", "enfoque sistémico", "pensamiento sistémico", "estructura", "la sistémica", "la teoría general de los sistemas", etc. son los elementos conceptuales que caracterizan al "movimiento de los sistemas". En este artículo se da una definición general de *sistema* y de los conceptos relacionados, en especial, sobre el status científico de la "teoría general de sistemas" y su relación con la ciencia, la tecnología y la ontología científica.

Palabras clave: "sistema", "sistematicidad", "sistémico", "enfoque sistémico", "teoría general de los sistemas", "filosofía", generalidad, científicidad.

Abstract

The development of the thought based on the central concept of *system* it has influenced to all the fields of science and technology. Terms of "system", "systemicity", "systemic", "systemic approach", "systemic thought", "structure", "the systemic", "the general theory of the systems", etc. they are the conceptual elements that characterize to the "movement of the systems". In this article a general definition occurs of *system* and about the related concepts, in special one is on the scientific status of the "general theories of systems" and their relation with the science, technology and the scientific ontology.

Key words: "system", "systemicity", "systemic", "systemic approach", "the general theory of the systems", "philosophy", generality, scientificity.

Recibido: 29 de agosto del 2007 • **Aprobado:** 10 de abril del 2008

1. INTRODUCCIÓN

En las publicaciones contemporáneas, existen diferencias en la caracterización de los principios fundamentales y el contenido de las diversas esferas de las investigaciones sistémicas. Este fenómeno es natural, pues este campo del conocimiento ha estado en proceso de formación y se han dado prematuras definiciones rígidas introducidas, sin considerar la conveniencia práctica y la eficacia de las generalizaciones teóricas. Un resumen de algunas definiciones y concepciones sobre el tema se pueden leer en Herrera (2006a).

El *pensamiento o enfoque sistémico* está fundamentado en el concepto de *sistema*, concepto central de la *teoría general de sistemas* (TGS). El camino histórico para llegar a tener una dilucidación de los conceptos involucrados ha estado lleno de problemas y aún hoy, en muchos campos no se utiliza con claridad. A pesar de que la concepción sistémica se ha extendido ideológicamente en los distintos campos de la cultura, la mayoría de estas ideas están basadas en popularizaciones y formulaciones filosóficas descuidadas. En efecto, si desafortunadamente la palabra *sistema* tiene muchos significados coloquiales, los cuales no tienen lugar en la

discusión científica, aún en ésta, en el proceso de desarrollo de este campo, se dieron diversas concepciones, muchas de ellas inadecuadas o incompletas. A decir de un investigador en el campo en los inicios del movimiento: “Las numerosas definiciones concurren entre sí evidenciando la imposibilidad de definir cabalmente el concepto en los marcos de la TGS” (Orudzhev, 1960: 55).

Según Bunge (2001), los filósofos de la ciencia han ignorado el estudio de las “teorías generales de sistemas” (TGSs) debido a su ignorancia y desprecio de las investigaciones y resultados científicos y tecnológicos producidos en el siglo XX, considerando que las TGSs constituyen una nueva versión de la antigua metafísica holista y de la epistemología analítica asociada con ella. En los campos de la sociología, la confusión es aún mayor y en muchos casos las ideas se rechazan por razones ideológicas confusas, producto de la ignorancia científico-filosófica de la disciplina.

En los inicios del conocimiento de este campo y según el proyecto de los teóricos que propusieron los primeros programas para la construcción de la “teoría general de sistemas” (TGS), ésta podía servir para todo; en sustitución de las ciencias particulares, debía actuar como una ciencia general de los sistemas de cualquier tipo. Así, por ejemplo, como indicaba Schoderbek, la TGS orientada a la *economía* permitiría explicar y predecir el crecimiento de una firma o de la economía global, etc. (Schoderbek, 1975: 9). Además, en otras esferas filosóficas se pensaba que sustituiría a la *ciencia filosófica*. Esto obviamente chocó con grandes y razonables dificultades.

Una crítica sofisticada de la TGS y las TGSs, la hizo Phillips bajo el título de “Systems Theory - A Discredited Philosophy” (Phillips, 1970: 413-432). En este artículo ataca a la TGSs en general y a la TGS en particular, argumentando que existe: (i) la falla de los *teóricos* de sistemas en apreciar la historia de su propia teoría; (ii) la falla al especificar lo que entienden por sistema; (iii) vaguedad sobre lo que está incluido dentro

de la teoría de sistemas; (iv) debilidades en los cargos hechos a los métodos analítico-mecanicistas; y (v) la falla de la TGS como teoría científica.

La falla señalada por Phillips en cuanto a la historia del campo es real y es posible que se deba a dos movimientos separados de la sistémica: el científico-tecnológico y el filosófico, en ignorancia mutua de sus campos producto de una inmadurez en su desarrollo. Los trabajos de científicos, tecnólogos y filósofos en el siglo XX, han hecho avanzar el conocimiento en este campo y su aplicación en muchas direcciones. En la esfera filosófica, las investigaciones de filósofos marxistas (materialismo dialéctico) y en “Occidente” en especial por el profesor Mario Bunge (materialismo “emergencista”), han permitido dilucidar los conceptos y delimitar las disciplinas, y respondiendo a la crítica descrita anteriormente¹.

2. EL CONCEPTO DE SISTEMA

Basado en tales conocimientos, el concepto de *sistema* se puede definir en su forma más general, como sigue:

Definición. Un *objeto complejo* es un *sistema* cuando dos o más de sus componentes (relata) están interrelacionados formando una *integridad*.

La definición no es vaga si se entienden los significados de los términos que contiene. Debido a su generalidad, no impone ninguna restricción al tipo de *componentes* o a sus *relaciones*.

Los *objetos* pueden ser individuales o colecciones, materiales o conceptuales, naturales o artificiales. La división más radical de las clases de objetos es en *cosas* o *sistemas materiales* (naturales o artificiales: hechos por el hombre) y *objetos* o *sistemas conceptuales* (constructos).

Aquí se entiende por un “objeto complejo” a aquel que contenga dos o más componentes y en consecuencia, una *totalidad* es un *objeto complejo*

que puede ser una *colección*, un *agregado*, algo indiferenciado o un *sistema* (pe., átomos, células, cerebros, máquinas, organizaciones). En caso contrario, es *simple* o *elemental* (atómico o básico).

El concepto de “relación” utilizado en la definición anterior incluye a dos tipos distintos que se denominarán de “adherencia” (ligadura, vínculo, enlace, conexión o acople) o de “no-adherencia”. La existencia de una “relación de adherencia” entre dos objetos (*relata*) implica, al contrario de las de “no-adherencia”, la producción de alguna diferencia en ellas. La relación de adherencia o conexión entre dos cosas materiales, implica que, por lo menos una de ellas, actúa sobre la otra. El concepto de “relación” tiene un significado más amplio al común, pues incluye al de “mera relación” (como pe.², las relaciones de orden entre elementos en un conjunto matemático, o la relación “más alto que” entre individuos) y a la relación de *adherencia* o *conexión* entre los componentes de una *cosa material* (pe., una presión), la cual implica la acción o interacción entre cosas.

Las *relaciones de adherencia* no pueden existir entre elementos conceptuales, como los componentes de un conjunto, porque ellos no interactúan. En matemáticas se pueden definir “operaciones” sobre los elementos de un conjunto, cuya existencia no los afecta. Aquí los elementos del sistema matemático (pe. un *monoide*, un *grupo*, etc.) están dados por anticipado, los elementos iniciales son los que su selección da lugar a unos u otros conjuntos. Pero los componentes de un *sistema material* no están dados *a priori*, se construyen (diseñan) o se seleccionan (observación empírica o por hipótesis teóricas) durante un proceso de división de alguna totalidad. Cada sistema ofrece la posibilidad de diversas divisiones, cada una constituye un conjunto, aunque el sistema mismo no es un conjunto.

El concepto de *adherencia* permite clarificar la diferencia entre dos *totalidades materiales*: *agregados* y *sistemas*. En efecto, un *agregado* es una colección de objetos que no están unidos por adherencias y por tanto, le falta *integridad* o *unidad*. Es lo opuesto de un *sistema*. Por tanto:

Definición. Un objeto es un *sistema material*, si y solo si, está compuesto de por lo menos dos cosas diferentes *conectadas* mutuamente, formando una integridad.

Análogamente a la división entre clases de objetos, solo se reconocen dos tipos de sistemas: *sistemas conceptuales* y *sistemas materiales*, según sean sus componentes sean, respectivamente, *conceptuales* (pe., conceptos, proposiciones, teorías, códigos legales, reglas) o *materiales* (pe., átomos, moléculas, cuerpos, células, organismos, sistema nervioso central, sociedades, empresa de negocios, especies, ecosistema, artefactos). Un *sistema funcional* conceptual es un conjunto de propiedades (o sus respectivos predicados o atributos) relacionadas por leyes (o sus respectivos enunciados legales).

Aunque todo *sistema* constituye una *totalidad*, no toda *totalidad* es un *sistema*. Solo cuando una *totalidad* en algunos aspectos se comporta como una “*unidad* o *totalidad íntegra*”, se dice que es un *sistema*.

La *integridad* o *sistematicidad* de un *sistema material* se da en grados de adherencia, depende de las conexiones o vínculos entre las componentes del sistema en relación con las acciones desintegradoras del *ambiente* o por sus contradicciones internas. Así se tiene:

Definición. Un *sistema material íntegro* es aquel cuyas *conexiones* internas entre las componentes son más fuertes que las acciones externas de su ambiente.

Por eso se puede decir que “un sistema material es una totalidad íntegra”, que se caracteriza por dos rasgos principales: (i) por una determinada composición: cantidad y calidad de sus componentes integrantes; (ii) por las conexiones internas y externas, constantes y estables entre ellos, en virtud de lo cual se unen en un todo único o totalidad íntegra. Este criterio permite diferenciar un sistema objetivamente existente de aquellos que no lo son. Si se tiene el (i) y no el (ii), entonces la *cosa material* es un *agregado*.

El primer y principal signo del *sistema íntegro* es que posee cualidades sistémicas integrantes,

distintas de las propiedades y cualidades de los componentes que lo integran. En otras palabras, todo *sistema material* tiene *propiedades emergentes*, es decir, no poseídas por sus componentes (un sistema tiene por lo menos una propiedad emergente).

Esta propiedad objetiva de los *sistemas* se resume en la tesis del “*emergentismo*” ontológico: “*todo sistema posee propiedades distintas a las de sus componentes*”. Por ejemplo un “hombre” tiene propiedades biológicas y propiedades sociales emergentes en el nivel social que no existían en el biológico, tal como su nacionalidad, clase, profesión, etc.

La ciencia y la tecnología contemporáneas son testimonio de que al *mundo* que nos rodea no lo forman cosas materiales (o procesos en las cosas) separadas, aisladas unos de otras, sino que constituyen un tipo determinado de formaciones sistémicas, de totalidades íntegras (no hay “quark” o “hombre” solo o aislado). Así se puede afirmar que los *sistemas* como totalidades íntegras son realidad objetiva, existen en el mundo, se encuentran en la naturaleza y en la sociedad y además, también los inventa y construye el hombre, conceptual y materialmente por medio de *sus prácticas científicas y tecnológicas* (diseño conceptual, ejecución y dirección), como los *objetos o artefactos tecnológicos* (Herrera 2003a, 2004).

Aunque todos los *sistemas materiales* difieren en características, el problema científico es conocer cómo surgen y mantienen su coherencia e integridad, cuáles son las leyes de su movimiento o cambio. La concepción sistémica no es empirista, pues busca el conocimiento de la totalidad de las relaciones, de las conexiones particulares y universales.

3. MODELO DE UN SISTEMA MATERIAL

El análisis más simple de un *sistema* Σ es dado por medio de un *modelo abstracto* conformado por la quintupla ordenada $\Sigma: \{C, A, E, M, S\}$: {*composición, ambiente, estructura, mecanismo y superestructura*}.

Estas cinco clases de complejidad representadas por la quintupla son denotadas por medio del acrónimo: CAEMS (Herrera, 1998, 2002), cuando el significado explícito de los términos es el siguiente: (i) La *composición* C es el conjunto de sus *componentes*; (ii) el *ambiente* A es el conjunto de objetos distintos a los de la composición que actúan sobre o son actuados por los componentes; (iii) la *estructura* E es el conjunto de relaciones, en particular adherencias o conexiones entre los componentes (*endoestructura*) y entre estos y los elementos del ambiente (*exoestructura*). La *estructura total* E es igual a la unión de estos dos conjuntos de relaciones, representa el aspecto *sistémico-estructural* de la *sistematicidad* y de la *integridad*. Su efecto es una *organización* interna del sistema, es decir, una partición (en clases de equivalencia) de la *composición*. La *frontera* del sistema consiste del conjunto de componentes del sistema que están ligados directamente con elementos del ambiente; (iv) el *mecanismo* M está constituido por el conjunto de los *procesos* internos que hacen que el sistema *funcione*, es decir, aquellos movimientos esenciales, en particular los que hacen que el sistema mantenga su *integridad*, responsables últimamente de su comportamiento externo, parcialmente observable. En el caso de la *sociedad* como sistema, el *mecanismo* son las *prácticas sociales*. Obviamente sólo los sistemas materiales tienen *mecanismo*; (v) la *superestructura* S designa al conjunto de *sistemas conceptuales* que condicionan y/o determinan el *mecanismo*, es el *invariante* del sistema, relaciones entre sus atributos, que representan a los elementos, nexos funcionales y relaciones de interdependencia entre las propiedades, estables en determinado período de su historia (pe.: la ley de interacción de los componentes, restricciones específicas, etc.). En el caso social, son *sistemas conceptuales político-administrativos y cultural-ideológicos* (leyes jurídicas, sociales y reglas, ideologías), los cuales son fijados materialmente (documentos, *software*, etc.) e ideológicamente en los componentes humanos. C y A son elementos materiales de Σ , M son cambios o procesos en C ; E y S son propiedades de Σ , por tanto son conceptos.

Como un *sistema* tiene *partes* en distintos niveles ontológicos (pe., átomos, moléculas, células, órganos, personas) es necesario indicar el nivel en el cual la *composición* está siendo pensada (investigada, diseñada), por ejemplo, una persona/sistema-social, universidad/sistema-cultural, empresa/sistema-económico, etc. Es una falacia atribuirle a una totalidad todas las propiedades de sus partes. Por eso es que se usa el término *componente* en lugar de *parte*.

Por la *estructura* se establece una partición de la *composición* en “clases de equivalencia”, produciendo una *organización material* del sistema. En el caso social, a veces tal *organización* es denominada *estructura social*. La *estructura* expresa la unidad del contenido (composición y ambiente) y la forma interior de *organización* del *sistema* que depende del tipo del nexo funcional y la ley de interacción de los elementos (superestructura). Le proporciona al sistema la integridad necesaria y determina las características estables que lo hacen distinto respecto a otros. La *integridad* del *sistema* se logra a costa de la síntesis de su estabilidad expresada en la *superestructura* y su relativa mutabilidad que se revela en la generalización de la descripción de los elementos del sistema y que sólo fija el carácter de sus posibles interacciones en el marco de la *estructura* que se examina. El *mecanismo* o los procesos esenciales del sistema, cumplen la *función* del sistema. La unidad estructura-función, unidad contradictoria determinada, es por la cual la invariabilidad de la *estructura* pone de manifiesto su relatividad, en el sentido de que ella siempre está sujeta a reestructuración para conservar la función general del sistema y de su intensificación y desarrollo.

La quintupla se puede considerar como una representación conceptual de un *sistema* supuesto real. Es un modelo general, pues no se han definido ni determinado las propiedades de sus componentes, ni su superestructura. Una interpretación de los componentes de la quintupla se obtiene al agregarle un *modelo teórico*, o sea, una aplicación a un sistema específico.

Cada uno de los componentes de un sistema puede ser considerado como un sistema, y el propio sistema investigado no es más que un componente de otro más amplio. En efecto, un objeto es un *subsistema* de otro, si y solo si, es en sí mismo un *sistema* y si su composición y estructura están incluidas en la primera, mientras el ambiente incluye aquello que más afecta al sistema (pe., un cromosoma de la célula, una universidad de la sociedad). Esta relatividad no elimina la objetividad de la existencia de los sistemas.

4. SISTEMATICIDAD Y ENFOQUE SISTÉMICO

La existencia de *sistemas*, la *estructura sistémica* de la realidad material y las formas de su conocimiento, constituyen una esfera del conocimiento que refleja uno de los principales rasgos de la realidad: la capacidad de los procesos y fenómenos existentes de entablar interacciones de tal naturaleza que, como resultado de las mismas, se forman *sistemas*, con nuevas cualidades que no tenían los objetos iniciales de la interacción. De ahí que con el concepto de *sistematicidad* o de lo *sistémico* se denota a “la propiedad de los objetos de ser o pertenecer a un *sistema*” (Bunge 2003), es una propiedad concreta de los procesos existentes. La *sistematicidad* es la calidad, la propiedad del mundo objetivo que consiste en que el mundo no lo constituyen objetos aislados o agregados, sino conjuntos interconexos en interacción e integridad, que las cosas dependen y se unen necesariamente las unas con las otras.

El desarrollo del conocimiento de lo *sistémico* lleva a postular la *tesis ontológica* siguiente: “*toda cosa material y toda idea es un sistema o componente de alguno*”, denominado el *principio de sistematicidad o sistemismo*. Este principio fundamenta la *cosmovisión* siguiente: “*el universo tiene la propiedad de la sistematicidad*” o “*el mundo es sistémico*”, lo cual significa afirmar que no es un *agregado* sino *una totalidad interconectada*, es decir, el *sistema* de todos los existentes o de las cosas materiales.

En otras palabras, el *sistemismo* es aquella *cosmovisión* o *enfoque general* que considera que todo lo que hay es *sistémico*, y de acuerdo con lo cual el “*mundo es un sistema de sistemas*” y no un bloque sólido o un agregado de individuos. Esto implica la hipótesis de la existencia de “un sistema estructurado del mundo”, se considera el cosmos como el supersistema de todas las cosas cambiables legalmente y nuestro conocimiento de ellas como un supersistema de ideas (Bunge, 1979: 2509) (Herrera, 2002).

La concepción de considerar la realidad objetiva y su reflejo en el pensamiento desde las posiciones sistémicas, de la totalidad sistémica, de la interacción de las partes que la forman, crea un prisma gnoseológico especial, una dimensión que podemos llamar “*enfoque sistémico*” (o el *pensamiento sistémico* o *sistemismo*). Esto permite tratar a toda la variedad de los sistemas, con propiedades distintas, con un *marco teórico unificado de sistemas*.

El enfoque opuesto al *sistémico* es el “individualista” (en particular atomista), el sectorial y el “holista” (no analítico), especialmente en el nivel social. O sea, el *sistemismo* no es *holismo* ni *atomismo* (Bunge, 1977a). El *atomismo* es el enfoque de que los objetos de cualquier clase son indivisibles o agregados, o combinaciones de indivisibles (individuos, átomos), para el *holismo* la totalidad es más importante que la parte, y puede ser explicado en su propio nivel sin la consideración de sus partes.

El *enfoque sistémico* y el *principio de la sistematicidad*, tienen un significado científico-concreto y filosófico-conceptual, que es un resultado histórico de las ciencias naturales y sociales y cuya comprensión se inició en el marco de la filosofía de la época moderna, en especial con Schelling y Hegel (Herrera, 2006b).

La necesidad del *enfoque sistémico* para resolver los problemas teóricos y prácticos es producto del propio desarrollo social y la alta interrelación social contemporánea. No es sorprendente que

debido al aumento de la complejidad de los problemas que enfrentan las prácticas científicas y tecnológicas, se apliquen cada vez más por diseñadores e investigadores, las concepciones sistémicas y se haya incrementado su importancia metodológica.

El *sistemismo* como posición filosófica consiste de dos axiomas: el ontológico considera que los componentes de la realidad objetiva son *sistemas materiales* y el epistemológico considera que el conocimiento, como “reflejo” por el pensamiento humano de la realidad, está constituido por *sistemas conceptuales*, es decir, que el conocimiento debe ser *sistémico*. Los dos axiomas implican la condición de que para explicar los objetos de referencia de las ciencias y la tecnología y para analizarlos, diseñarlos o inventarlos, es necesario considerar sus *relaciones* o su *estructura*. El *enfoque sistémico-estructural* ha penetrado en muchas ramas de las ciencias naturales, siendo que las *totalidades* en muchas áreas de estudio, desde la geografía física a la sociología, han sido estudiadas usando el lenguaje y las ideas apropiadas a sistemas de cualquier clase.

De acuerdo con la *ontología sistémica*, la totalidad de las *cosas materiales* se pueden agrupar en cinco géneros o niveles ontológicos: el *fisiosistema* o el conjunto de cosas físicas (pe., átomos, cuerpos o campos)³; el *quimiosistema* o el conjunto de sistemas químicos (pe., unidades de síntesis-proteínico); el *biosistema* o el conjunto de sistemas biológicos (pe., células, órganos, organismos); el *sociosistema* o el conjunto de sistemas sociales (pe., sociedades, sus subsistemas y supersistemas) y el *tecnosistema* o conjunto de artefactos (artificios). Los primeros tres preceden a los otros dos, en el sentido de que sus componentes tienen o se ensamblan con partes de los primeros. Esto permite describir la estructura de la realidad como una “pirámide óptica” (Bunge, 1979). En consecuencia, de acuerdo con el *sistemismo* las *prácticas científicas* especiales tienen por referentes particulares a *sistemas materiales* en tales niveles ontológicos, lo cual permite clasificarlas (Herrera, 2002).

5. EL “MOVIMIENTO DE LOS SISTEMAS”

En la consideración del concepto de *sistema*, del *enfoque sistémico*, de la *sistémica* en general, hay aspectos distintos pero interrelacionados, que son producto de los trabajos en *tecnología* y *ciencia*. El conjunto de intentos en todas las áreas de estudio para explorar las consecuencias del *pensamiento sistémico* se puede denominar el “*movimiento de los sistemas*” (MS) (Checkland, 1979a, 1981) (Herrera, 2006b). El programa del MS se puede describir como la prueba de la conjetura de que estas ideas son útiles para plantear el problema de la *complejidad organizada*, el cual, según algunos de los primeros pensadores en este campo, con los métodos de la ciencia normal es difícil lograrlo. Fueron Bertalanffy (1950, 1998) y Boulding (1956) quienes insistieron en que las ideas emergentes en varios campos podrían generalizarse según el *pensamiento de sistemas*. Conceptos como organización, totalidad, dirección, teleología, control, autorregulación, diferenciación, no eran comunes en las ciencias como la física. Muchos reconocen a Bertalanffy como el fundador del movimiento de sistemas (Gray & Rizzo, 1973), aunque la fundación de la *cibernética* por Wiener (1948) fue una contribución esencial. Esta nueva rama del conocimiento científico que nació en la ingeniería y el surgimiento de ramas del conocimiento como la *informática* o la *investigación de operaciones* dieron gran impulso a la investigación sistémica (Herrera, 2006b). Principalmente biólogos y matemáticos, a mediados del siglo veinte, elaboraron los principios del *enfoque sistémico* aplicado al nivel biológico, explicación efectuada mediante modelos objetivos del movimiento de la complejidad biológica o los sistemas naturales y los matemáticos en la búsqueda de diferentes métodos de computación y teorías para la construcción de los sistemas artificiales. Este movimiento es parte de la *revolución tecnológico-científica* (RCT) de la época actual, que ha producido una creciente transformación de las prácticas científicas y tecnológicas en elementos del desarrollo social e influenciando a todas las esferas de las actividades humanas. Los correspondientes cambios cualitativos y

cuantitativos en el conocimiento científico se reflejan en la diferenciación e integración de los distintos campos de la cultura. La tendencia integradora, es necesaria para el estudio de los problemas complejos e integrales y la consideración de las características polisistémicas y de multiniveles de la sociedad industrial actual (por ej., la globalización política y económica del mundo social), situación que obliga a un *enfoque sistémico* y por tanto a que las *prácticas científicas* se propongan explicar tales fenómenos y a las *tecnológicas*, a la creación de nuevos medios que permitan asegurar la dirección racional de esos objetos y a coadyuvar a resolver los problemas prácticos de la humanidad. Esta complejidad, en particular la variedad de los componentes de sistemas, viola la tradicional frontera entre disciplinas y obliga a un enfoque interdisciplinario. Así, se puede decir que también la *investigación sistémica* es una manifestación de la unidad de las funciones investigadoras y transformadoras de carácter integral e interdisciplinario de las ciencias y las tecnologías. Debido a que las *prácticas tecnológicas*, que son componentes de los procesos productivos, transforman *sistemas* y por tanto realizan el *diseño*, el *análisis* y la *dirección* de la construcción de *artefactos* o *sistemas artificiales* de distintos tipos y la dirección de los sistemas naturales, se hace necesario el desarrollo de las *ciencias aplicadas* o de las *prácticas científico-tecnológicas* que se orientan hacia la *investigación sistémica* y la cual tiene dos tareas básicas interrelacionadas que son: (i) el desarrollo de los métodos del diseño (análisis, síntesis) de los artefactos como sistemas y (ii) la explicación objetiva y racional de tales *sistemas* o *cambios de estado artificiales* producidos por la “acción práctica” de la *tecnología*.

También en esta área el concepto de *sistema* ha servido como instrumento para resolver los problemas del sistema-objeto (material o conceptual), esenciales para el investigador y/o diseñador (sujeto). En efecto, la influencia del *enfoque sistémico* se reveló en las *prácticas tecnológicas* mediante el diseño de sistemas con gran cantidad de componentes vinculadas para cumplir un fin específico. Este campo se llamó *ingeniería de sistemas* (IS), un campo de la

ingeniería que intensificó el estudio del diseño del ensamblaje de artefactos y las actividades de sus operaciones, en especial el “flujo de información”. Además, estas actividades incluyen la consideración del análisis de costo-beneficio, el soporte lógico y de otros aspectos técnicos. También se ha denominado IS a la disciplina que diseña Sistemas de Computadores (ver pe., el Journal of Systems Engineering) (Checkland, 1981).

Simultáneamente, con la *ingeniería de sistemas* surgió el campo del pensamiento metodológico reconocido como *análisis de sistemas* (AS) asociado con RAND Corporation, metodología desarrollada por el International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA) en la década de los setenta. El énfasis sobre la *ingeniería de sistemas* en los primeros estudios RAND, fue rápidamente reemplazado por el énfasis en consideraciones sobre costos y estrategias y el trabajo consistió en la amplia apreciación económica de todos los costos y consecuencias de diferentes alternativas para proyectos con un determinado fin. A esta línea de trabajo se le llamó en las ingenierías *análisis de sistemas*, práctica que estudiaba los costos y otras implicaciones de proyectos con varias opciones y consideraciones. En el área de aplicación relacionada con los negocios y la administración hay algunas confusiones sobre *análisis de sistemas* en el sentido amplio de RAND, en relación con el más limitado “análisis de sistemas” para redes de computadores, el cual debe preceder a la instalación de computadores y que a veces es denominado *ingeniería de sistemas* (Checkland, 1981).

Tanto IS como AS, son estrategias de investigación en el campo tecnológico, más que métodos o técnicas, ambos requieren el diseño tecnológico y el método científico de los ingenieros. IS es la totalidad del proyecto de ingeniería y AS es la apreciación para hacer decisiones en el proyecto de ingeniería (Checkland, 1981: 138).

El *análisis sistémico* en las *ingenierías* implicó fundamentalmente la elaboración de los métodos teórico-metodológicos de las

investigaciones, la construcción y la dirección de sistemas en que se incluye el factor humano orientado a un fin. Aunque estas metodologías han sido de una u otra forma parte de las *ingenierías clásicas*, su desarrollo en el marco sistémico amplió el campo de la ingeniería, al considerar los problemas de la administración y planificación de proyectos, al sistematizar las actividades humanas necesarias para su realización, etc. Surgieron otros campos denominados, por ejemplo, *ingeniería industrial*, orientada hacia la administración y control de las actividades humanas o procesos en los *tecnosistemas* (Herrera, 1992). En realidad, es parte de lo que se podría llamar la tecnificación de la *administración*, que en el caso de la *investigación de operaciones* no pudo resolver, como algunos de sus teóricos pretendían, los problemas sociales. Hay diferencia entre los problemas “duros”, es decir, aquellos que tienen metas definidas y los “suaves” (situaciones problemáticas en las actividades humanas) que no tienen metas definidas, o entre la ingeniería de sistemas “duros” o la de los “suaves” como los denominó Checkland (Checkland, 1979b, 1981).

El *análisis de sistemas* propio de las *prácticas tecnológicas* usa el método científico, pero no se interesa por desconsiderar las propiedades de los componentes del sistema; sus *modelos sistémicos* tienen referentes fácticos, pero lo que tiene de peculiar es que tanto los ingenieros como los científicos deben adoptar puntos de vista pertenecientes a diferentes niveles, por lo que sus estudios son multifacéticos y en multiniveles como cuando se estudia un ecosistema o un sistema de transporte, o los *tecnosistemas* (fábricas, hospitales, universidades, etc.). La novedad no está en el método, sino en el referente de estudio constituido por sistemas complejos artefacto-hombre. El *análisis de sistemas* en la *ingeniería* no construye *modelos* extremadamente generales, en su lugar usa diagramas de redes, mapas, esquemas, ocasionalmente modelos matemáticos, considerando la estructura, la cinemática y la dinámica del sistema, para entender cómo opera, cómo funciona mal o cómo se pueda reparar o mantener.

6. LA INVESTIGACIÓN SISTÉMICA COMO CIENCIA TECNOLÓGICA

En el MS surgieron nuevas disciplinas e investigaciones científico-tecnológicas orientadas por el enfoque sistémico, como la *cibernética*, la *informática*, la *investigación de operaciones*, la *ingeniería de sistemas*, el *análisis de sistemas*, la *ciencia de la administración*, en la *economía*, etc. Surgieron especialidades o campos de las *ciencias tecnológicas* que se pueden denominar la *investigación sistémica* o *sistémica*, que a diferencia de la *prácticas científicas*, *científico-tecnológicas* o de la *prácticas tecnológicas* (ingeniería) (Herrera 2003a, 2004 a,b), que producen o aplican alguna ciencia particular a sistema particulares por separado, la *sistémica* busca desconsiderar el referente material (físico, químico, biológico o social) de sus sistemas, enfocando solo su estructura y comportamiento.

Mucha de la *investigación sistémico-teorética* se ha dedicado al estudio de sistemas y procesos materiales utilizando *objetos-modelos* o la representación conceptual o esquemática de una cosa o *sistema* (que representa los rasgos supuestos esenciales). Son usuales los llamados de *caja negra*, *gris* o *traslúcida*. Los modelos de caja negra (*input-output*) se usan en distintos campos, desde la termodinámica y la ingeniería eléctrica a la biología, la psicología y la ciencia social. Algunos de los modelos utilizados para representar un sistema no consideran la naturaleza de sus componentes y por tanto, la clase de adherencias entre ellas (o modo de asociación), es decir, no se considera su estructura y mecanismo. La *caja negra* es el más simple de ellos, pues no considera la interacción con su ambiente, ni su estructura, supone relaciones entre la entrada y la salida sin considerar las variables que especifiquen el estado interno del sistema. Parte de lo que se llama *análisis de sistemas* en la *sistémica* consiste en la elaboración de modelos de éste tipo. El *modelo* de *caja translúcida*, es una teoría “representacional” pues introduce un *mecanismo* interno hipotético, descrito con variables “internas”, que establecen vínculos entre las entradas y salidas observables. El

modelo de *caja gris* conjetura los estados internos sin revelar el *mecanismo*, es el modelo intermedio entre la *caja negra* y la *traslúcida* o el modelo con *mecanismo*. De todas las *teorías de caja gris*, la más simple es talvez la *teoría de autómatas* (*automatón*), el cual es un sistema de componentes admitiendo *inputs* de alguna clase y produciendo *outputs* de la misma o de diferente clase. Al igual que la *caja negra*, no consideran la naturaleza específica de la cosa modelada, ni la configuración espacial de sus componentes. Es decir, la *teoría* de *autómatas* es una teoría global (no holista), libre de materia o sustancia (no-fantasmal), a-tópica (no-espacial) y acrónica (no-temporal) (Bunge, 1979). Dada la pobreza asumida sobre las propiedades de los componentes del sistema, se puede aplicar para representar a toda clase de sistemas. Por ejemplo, todos los *sistemas de información* en primera aproximación pueden pensarse como un *automatón* (un sistema nervioso, un servomecanismo, computadores, redes de TV, etc.), sus referentes son la totalidad del *genus* de los sistemas de procesamiento de información, sean físicos, químicos, biológicos, psicológicos o sociales. Como es una teoría que considera ciertos aspectos de los sistemas materiales es una *teoría factual*, sin embargo a pesar de ser un modelo exacto y simple (superficial) de un sistema interactuando con su ambiente, no incluye las características de interés para las ciencias especiales, como la clase de material y la forma como se cambia el sistema (energía).

Este proceso de análisis y diseño de ciertos *modelos* y *teorías exactas* respecto a aspectos básicos de las entidades o sistemas de varios géneros, son un componente importante del MS pues son medios especiales de las investigaciones sistémicas, en el cual se ha dado el desarrollo de un conjunto completo de teorías enfocando las características estructurales de los sistemas, tales como las *teorías de circuitos*, *redes* o *grafos*, *autómatas*, *sistemas lineales*, *del control o cibernética*, *teorías matemáticas de máquinas*, *teoría de información*, *la teoría de los juegos*, *dinámica Lagrangiana general* (Bunge, 1967, 1979). Como estas teorías atraviesan las barreras grandemente artificiales entre disciplinas se

pueden denominar *Teorías Generales de Sistemas* (TGSs). Esto permite caracterizar este campo como una nueva disciplina científica, como una nueva orientación de la ciencia.

En el campo puramente científico-filosófico, la *investigación sistémica* se desarrolló con la pretensión de encontrar las analogías entre todos los sistemas, estudiando a los referentes de explicación como sistemas poseedores de una serie de propiedades comunes, apuntando como considera Bunge (1979) a que: (i) hay algunos conceptos y principios estructurales que se sostienen para sistemas de muchas clases y (ii) que hay algunas estrategias de modelación, en particular el enfoque del “espacio de los estados”, que parece trabajar en todo lugar.

De ahí el interés por las *teorías generales de sistemas*, en las cuales, a juicio de algunos científicos, se encontraba la clave para la síntesis de las ciencias actuales, para su unión interior y no solo exterior o formal. La “visión” de Bertalanffy (1956) era que podría llegarse, como resultado del trabajo en diferentes campos, a una *metateoría de sistemas* de alto nivel, matemáticamente expresada (Herrera, 2006b). Esto llevó históricamente al intento de crear una TGS llamada a descubrir las leyes más generales que actúan en los sistemas físicos, químicos, biológicos, sociales, técnicos, etc. (Boulding, 1956).

7. LAS TEORÍAS GENERALES DE SISTEMAS (TGSS)

En las publicaciones contemporáneas han existido diferencias en cuanto a la caracterización de los principios fundamentales y el contenido de las citadas esferas de las investigaciones sistémicas. Este fenómeno es natural, pues es una esfera de la ciencia que ha estado en proceso de formación, dándose prematuras definiciones introducidas sin considerar la conveniencia práctica y la eficacia de las generalizaciones teóricas (Herrera, 2006b). Parte del desarrollo conceptual de este campo ha sido realizado sin el conocimiento de los fundamentos históricos filosóficos adecuados. Actualmente, los métodos y los medios del

pensamiento sistémico se han desarrollado y pasaron la etapa de su “adolescencia”, tanto teórica, metodológica y pragmáticamente. Sin embargo, eso no significa que los problemas están resueltos, y ello por la simple razón de que el conocimiento científico no es finito. También desde un punto de vista teórico y general, hay un gran campo para la dilucidación y determinación de muchos de los conceptos relacionados con el pensamiento sistémico y científico.

Específicamente las TGSs forman un campo, producto en su mayor parte de las *prácticas científicas y tecnológicas*, de gran interés para la *filosofía*, ya que debido a su generalidad esta esfera del conocimiento se traslapa con la *ontología*. En efecto, la *investigación sistémica* y la *ontología* estudian las propiedades comunes a todos los sistemas, no importa su constitución particular y a ambos les interesa investigar las peculiaridades de las teorías extremadamente generales, que son metodológicamente muy diferentes de las teorías específicas (Bunge, 2001).

Por ejemplo, el estudio de los *sistemas de control* específicos lo hacen las prácticas científicas especiales con referentes fácticos diversos (pe., en las ingeniería mecánica o eléctrica, o en bioquímica, fisiología, economía, politología), mediante diversas formas de representación (utilizando *objetos-modelos* como los *grafos* o matemáticos como las *matrices*) (Bunge, 1979), (Kliry Valach, 1967). *Lacibernética*, como práctica científico-tecnológica, investiga las propiedades comunes de los “sistemas de control”, es una teoría fáctica general, independiente de la clase de materia que constituye a los componentes del sistema, no asume en sus modelos leyes físicas, químicas, biológicas o sociales, es, entonces, una parte de la *ontología científica*. Análogamente, la *teoría de autómatas* pertenece a la *ciencia tecnológica* y a la *ontología*. También, dada la generalidad del marco *lagrangiano*, se puede reconocer como perteneciente a la intersección entre ciencia y filosofía (Bunge, 1979: 280).

Debido a que las TGSs se refieren a *sistemas materiales* sin considerar el “material” de que están hechos, ni las peculiaridades de su

estructura, son *teorías hipergenerales*, mas que generales (Bunge, 2001). Como estas teorías o modelos teóricos no tienen referentes concretos específicos, son parte o se “intersectan” con una *ontología científica*, como se anotó anteriormente. Todas son *no-representacionales*⁴, son cajas negras o grises, no traslúcidas; así como se ha descrito, describen el comportamiento de ciertos sistemas, pero no saben cómo trabajan. No consideran ni la clase de referentes materiales, pues no contienen asunciones sobre la naturaleza de sus componentes, ni tampoco el *mecanismo* que determina su estructura, sus relaciones, ni la invariante estructural de los sistemas. Por tanto, son *modelos* de generalidad extrema. Son tan generales que con base en ello no se puede hacer ninguna *predicción*, esta requiere algún conocimiento extra concerniente a la composición del sistema, a las clases de materiales que los constituyen, a su estructura, etc. Cuando se determinan o inventan los referentes de la realidad, estas teorías se particularizan. Todas pueden ser consistentes con hipótesis alternativas relativas al *mecanismo* del *sistema*, es decir, se pueden convertir en teorías representacionales más profundas, o sea, en *teorías* o en *modelos teóricos fácticos* específicos (no formales).

Existe la confusión, en especial en el campo de las matemáticas, de que las TGSs son teorías matemáticas. Sin embargo, el hecho de que estas teorías no tengan como referentes a entidades materiales específicas, no las convierte en teorías matemáticas (ciencia “formal”), pues estas tienen un mayor grado de interdisciplinariedad. Son teorías abstractas interpretadas o formalismos asociados a una interpretación fáctica o material. Cuando una TGS es aplicada, se emplea en la tecnología como modelo de las cosas por diseñar o controlar, es decir, aunque las TGSs son *hipergenerales*, no son tan *universales* como las teorías matemáticas.

Por ejemplo, las matemáticas (topología) estudian el objeto-modelo denominado *grafo* que es un conjunto de puntos (*nudos* o *relata*) unidos por líneas (*cuerdas*), las cuales pueden estar matemáticamente orientadas y representar relaciones de algún tipo entre los *relata* que unen

(Rizo, 1964: 12). Estas *redes* o *grafos* son usados como objetos-modelos (visuales o icónicos) de sistemas materiales (circuitos eléctricos, redes sociales, etc.) (Herrera, 2003b: 76)⁵, es decir, que el *grafo* se puede considerar como una de sus posibles representaciones conceptuales (pe., una *organización social*) y por tanto, un modelo de la teoría (formalismo dotado de una interpretación o significado de sus conceptos primitivos). En tal caso es un modelo factual y general, mientras no se hayan definido las clases de *relaciones* (pe. operaciones matemáticas) entre los *relata*. Al formularse las relaciones (estructura) mediante leyes (o algoritmos) entre las propiedades de los componentes se tiene una red específica, interpretada. En general mediante la representación con el “espacio de los estados” se puede incorporar una teoría dinámica (ecuaciones dinámicas) gobernando la dependencia en el tiempo de las variables fundamentales (pe., relaciones matemáticas entre estados que ocupan los componentes) (Bunge, 1979). Entonces el modelo se convierte en un modelo factual de caja traslúcida, y por tanto, un caso particular o una *teoría de sistemas factual específica*.

El estudio de las *redes* es parte del área general de la ciencia que ha sido aplicada intensamente en el campo bautizado como el *movimiento* o *teoría de la complejidad*, especialmente el Santa Fe Institute, Nuevo México, US⁶, el que coleccionó en el pasado muchos sistemas bajo el nombre de *complex adaptive systems* (cas) para estudiar la integridad y la emergencia (Herrera, 2002, 2006^a)⁷.

Como se infiere (Buchanan 2002: 18) lo que estudia este movimiento de la complejidad son *sistemas materiales* (como toda ciencia) desde un *enfoque sistémico* (aunque no usen este término o no conozcan cuáles son sus referentes) y trata el develamiento de su estructura y superestructura (leyes), así como la formación o génesis de la emergencia de las cualidades nuevas o sistémicas, diferentes a las de los componentes, utilizando modelos teóricos de redes, con representación de las relaciones mediante una formulación matemática no lineal (pe. con ecuaciones dinámicas no-lineales).

Como un *objeto* es *complejo* si tiene dos o más componentes, todo sistema analizado mediante el CAEMS, en el nivel ontológico correspondiente, tiene cuatro clases de complejidad: composición (número y tipos de componentes), ambiente (número, tipos e intensidades de los vínculos con elementos en el ambiente), estructura (número, tipos e intensidades de las adherencias entre componentes) y mecanismo (tipos de procesos esenciales). La superestructura reflejará estas complejidades.

La pretensión de obtener una “teoría de la complejidad” se asemeja a la original del *movimiento sistémico* en la búsqueda de una “teoría general de sistemas para cosas de todo tipo”, la cual fracasó, como se anotará más adelante en este trabajo. Aunque no es aquí el lugar para hacer una crítica semántica de estas corrientes estadounidenses, este artículo responde en parte a muchas de ellas.

8. LA TGS Y LA ONTOLOGÍA

Como se desprende de la concepción expuesta, las tareas de las distintas esferas de las investigaciones sistémicas actuales, necesitan comprensión y argumentación filosóficas. Ocurre que ninguna de estas esferas por sí solas aspiran a la comunidad filosófica, a la significación conceptual. Este papel solo lo puede desempeñar una *ciencia filosófica*, ante todo el *principio de sistematicidad*, que sirve de medio de interpretación filosófico-conceptual del papel y el significado de los métodos sistémicos de investigación.

Si las ciencias fácticas especiales investigan sistemas en diferentes niveles de complejidad, la *ciencia filosófica* basada sobre el conocimiento científico producido por ellas, analiza y sintetiza las *categorías* más generales propias de cada ciencia, desarrollando asunciones básicas respecto a sistema de todas clases y construyendo *teorías ontológicas sistémicas* de explicación general de cada nivel de la realidad. Esta aplicación del *sistemismo* al estudio de cada uno de los niveles ónticos, que se puede llamar el *fisio-sistemismo*,

quimio-sistemismo, *bio-sistemismo*, *socio-sistemismo*, etc., es un componente de la *ciencia filosófica*.

Un ejemplo propio del *socio-sistemismo*, es el desarrollo de una *teoría ontológica* de la *sociedad* (categoría filosófica), que la define mediante el CAEMS como un sistema material (cuya composición son animales, en especial del género *homo*), dotado de estructura (representada por su organización constituida por una familia de equivalencias para cada grupo social) (Bunge, 1977: 2001) (Herrera, 2002), pero no caracteriza las propiedades de la composición o a sus leyes estructurales, no determina alguna superestructura específica, es un *modelo teórico*, “libre” pues no tiene restricciones sobre su estructura. La antropología, la economía política o la sociología la pueden utilizar como un marco o matriz para investigar teorías o modelos más específicos y particulares que intenten explicar el cambio social (pe., formaciones sociales y modos de producción particulares como el capitalismo), considerando sus invariantes y leyes particulares (superestructura), así como distintos tipos de representación y modelación, análogamente en otros campos con referentes ónticos distintos. Este tipo de *teorías generales de sistemas* se diferencian con el grupo de TGSs en que al contrario de ellas, sí se especifica el referente material según el nivel ontológico correspondiente (pe., la sociedad humana).

Como campo de aplicación del *sistemismo* y con base en el estudio de las TGSs, es que se ha constituido la *Teoría General de Sistemas* (TGS) como *teoría ontológica*, que intenta poner de manifiesto algunas propiedades y leyes generales comunes a todos los sistemas materiales y por tanto, comunes a las *teorías científicas de sistemas materiales* producidas por las *teorías hipergenerales fácticas* de cada nivel óntico ya descritas.

Las categorías de la *sistémica-filosófica* o de las TGSs (por ejemplo, las de la cibernética) son más específicas, menos universales que las de la *ontología científica*, pues esta trata esencialmente los aspectos clave y de mayor profundidad

metafísica que aparecen en la *filosofía* o en los fundamentos de las teorías científicas, como por ejemplo: existencia, conciencia, identidad, cosa, materia, movimiento, proceso, relación, asociación, interacción, sistema, propiedad, vida, mente, totalidad, espacio, tiempo, etc., que son *categorías* más universales. Las asunciones sobre la existencia de sistemas, la definición de un sistema concreto en conjunto con ciertos postulados generales respecto a la naturaleza de las cosas, la conceptualización del *modelo abstracto* CAEMS de un *sistema* general o material descrito en las secciones 2 y 3 de este artículo, son ejemplo de las funciones de la *ontología sistémica*.

En consecuencia, se podría decir que las *teorías científicas ontológicas* (como la TGS) son *super-hipergenerales*, en relación con las *teorías generales de sistemas* que son *teorías hipergenerales*.

Boulding había señalado que existía suficiente evidencia sobre la necesidad de teorías meta-disciplinarias generales. Así, la TGS se puede interpretar en el sentido lógico-metodológico como una *metateoría* de las teorías sistémicas, o según Mesarovich como “la teoría de los modelos abstractos de los sistemas, representados en forma de diversas estructuras” (Mesarovich, 1966: 19). Una teoría de este tipo es una *teoría ontológica* que desarrolla las categorías y las leyes fundamentales de la realidad sistémica del mundo, basado en las teorías particulares.

9. TGSS Y LA CIENTIFICIDAD

Las TGSs comparten tres aspectos básicos con las teorías ontológicas: son matemáticas en forma, se refieren a géneros (no especies) de cosas materiales reales y son empíricamente incontrastables, excepto en forma indirecta por medio de teorías específicas (Bunge, 2001).

Un ejemplo ilustrativo de la “incontrastabilidad empírica directa” de las *teorías generales de sistemas* se da con las *teorías de la información y comunicación*. Un *artefacto* diseñado para procesar información, es por definición, aquel

que se basa y empata con modelos teóricos de los artefactos, proyectados con base en esas teorías tecnológicas, las cuales se interesan en las predicciones cuidadosas y seguras, más que las exactas de las teorías científicas en general. En otras palabras, cualquier artefacto, sea humano, eléctrico o mecánico, debe cumplir con la teoría de la comunicación y las correspondientes reglas tecnológicas del diseño, si pretende realizar la función de la comunicación. Si no lo hace, es decir, si falla, el tecnólogo buscará corregir el diseño (el ingeniero no busca falsar reglas, sino que sean seguras). Consecuentemente, los conceptos de grado de confirmación, corroboración y contrastabilidad, son irrelevantes respecto a esta teoría, la totalidad de la lógica inductiva es irrelevante y así lo es la metodología de la refutación (Popper).

Las TGSs han cambiado los criterios de contrastabilidad de las teorías de manera que se considera que: “una teoría es científica, si y solo si, cuando es enriquecida con hipótesis subsidiarias y datos empíricos, se hace empíricamente contrastable sea directa o *indirectamente* (pe., a través de alguna teoría específica)”.

Más explícitamente, el criterio de científicidad para las teorías científicas más amplio es el siguiente: “una teoría es científica si y solo si: (i) es compatible con el cuerpo de conocimiento científico; (ii) juntamente con hipótesis subsidiarias y datos empíricos implica consecuencias contrastables empíricamente o (iii) juntamente con hipótesis subsidiarias y datos empíricos implica teorías que a su vez implican consecuencias comprobables como en (ii) (Bunge 1977, 2001).

Claramente, tales *teorías hipergenerales* desafían a la filosofía estándar de la ciencia (especialmente las positivistas), aun más abiertamente que las teorías científicas estándar genéricas (pe., la cuántica). Las filosofías tradicionales de la ciencia no contenían el punto (iii). Esto es congruente con la tesis de que las teorías generales de la ciencia se comprueban solo mediante teorías específicas o particulares. Estas teorías particulares son especialmente propias de las “teorías de la tecnología” (sistemas

conceptuales científico-tecnológicos) (Herrera, 1991), en las cuales se fundamenta el *diseño* de los modelos de los artefactos posibles. Esta característica está en acuerdo con el concepto de la *práctica social* o de la *praxis humana*, como *criterio* último de científicidad, pues es en ella donde históricamente se corroboran las teorías correctas. Así, la praxis transformadora, como la tecnológica, en la medida en que es científica, es válida y capaz de probar su propia validez en su propia capacidad transformadora (Herrera, 2005). La “verificación” de las teorías científicas no está limitada a la verificación de laboratorio, sino que se realiza por la aplicación total de la ciencia a la vida social, se verifican mediante nuevas aplicaciones de la tecnología y con el resultado, bueno o malo, de nuevas técnicas creadas a la luz de teorías.

10. FILOSOFÍA Y CIENCIA

Las fronteras antiguas entre la *filosofía* y la *ciencia*, compartida por las filosofías tradicionales como las empiristas y racionalistas, solo son insuperables si se define la *ciencia* como la investigación y obtención de las leyes de un campo particular de la realidad. Bajo esta concepción la *filosofía* no es una *ciencia*, ya que su objeto no es tal o cual campo particular de la realidad objetiva. Sin embargo, la *ciencia filosófica* considerada como la ciencia de las leyes generales del movimiento y de la evolución de la naturaleza, de la sociedad humana y del pensamiento (Engels la llamó el *materialismo dialéctico*), que busca, descubre y formula las leyes, generales de la *realidad objetiva* o *materia* a través de las leyes particulares establecidas por las ciencias de la naturaleza y la sociedad, no es una ciencia particular igual que otras, pero tampoco es la “ciencia de las ciencias” o una visión apocalíptica del mundo que formula sus leyes independientemente de las ciencias particulares. Es una teoría del ser en su totalidad (naturaleza y sociedad) y la teoría del conocimiento del ser. La definición de la filosofía como ciencia no puede evitar su carácter específico, su autonomía en relación con las ciencias particulares y su diferencia cualitativa con respecto a ellas. Si

la filosofía es cualitativamente diferente de las ciencias particulares, al mismo tiempo, está en relación dialéctica con ellas. Aislada de las ciencias es una especulación. La *ciencia* es el estudio de lo particular en cada nivel ontológico; la *ciencia filosófica* (como ontología/epistemología) investiga relaciones, procesos concretos y las categorías que operan en tal o cual nivel de la realidad, las cuales no son sino la realización de lo general en lo particular. Por el análisis de estos elementos y por la separación de aquello que es común en muchos ámbitos de la realidad, ya accesibles al conocimiento, se puede llegar a la formulación de leyes generales. Sus proposiciones específicas son un componente del sistema de proposiciones científicas. De esa forma, la filosofía puede pasar la prueba de la praxis, y entonces, probar su objetividad.

Se puede afirmar que hay entonces una sola ciencia y que los criterios de demarcación entre *ciencia filosófica* y *ciencia* (factual o formal) no son tan rigurosos y dependen del grado de generalidad y profundidad con que se desarrolle el pensamiento. La *ontología científica* aplica las categorías más generales al desarrollo y comprensión de las *teorías de sistemas* y de una TGS, que basa sus conceptos en *teorías ontológicas hipergenerales* como el *cambio* o *emergencia*. Siendo la *filosofía* una *ciencia* que trabaja con las abstracciones más amplias, actúa como la praxis integradora del conocimiento humano.

Así, se puede decir que las TGSs son teorías ontológicas particulares, análogamente que toda otra teoría científica, ambas esferas del conocimiento pertenecen también a una ontología científica. Además, las TGSs se “intersectan” con una TGS ontológica super-hipergeneral. Por otra parte, es evidente entonces que las TGSs y la TGS (como parte de la ontología) no pueden sustituir a la *ciencia filosófica* o a la *filosofía* en general. La pretensión original de los fundadores del *movimiento sistémico* de construir una “ciencia general sobre los sistemas” de cualquier tipo o una “ciencia unificada de toda cosa” fracasó en la concepción misma, lo cual no significa que las TGSs sean no-científicas o que no exista una ontología científica.

NOTAS

- 1 Para una bibliografía más amplia ver Herrera (2006c).
- 2 Se usará ‘pe.’ como abreviación de “por ejemplo”.
- 3 Solo los sistemas físicos pueden estar compuestos de cosas que no son sistemas, como las partículas elementales o el campo.
- 4 A veces se llaman *fenomenológicas*, pero este término es equívoco, pues podría sugerir que no se trata de hechos objetivos, sino de experiencias subjetivas.
- 5 En *ingeniería estructural* la representación por redes del *sistema estructural* se aplicó en el análisis de estructuras por computadora, en las década del 50 y 60. Ver Rizo (1964).
- 6 Conocido como un “think tank” para el estudio de la “complexity” fue fundado en 1980 por George Cowan.
- 7 “La complejidad organizada” es el referente de la *sistémica* y considera una estructura de niveles ónticos de organización, cada uno con propiedades emergentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertalanffy, L. : (1950). “An outline of general system theory”. *Brit. Jo. Philos. Sci.* **1**: 139-164.
- Bertalanffy, L. : (1998). *Teoría General de los Sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. 1ª edic. 1968. México: Fondo de Cultura Económica.
- Boulding, K.E.: (1956). “General system theory – the skeleton of science”. *Management Science*, **2**: 197-208. New York.
- Buchanan, M. (2002). *Nexus. Small Worlds and the Groundbreaking. The Theory of Networks*. New York: W.W. Norton & Co.
- Bunge, M. (1967). *Foundations of Physics*. New York: Springer-Verlag.
- Bunge, M. (1972). *Teoría y Realidad*. Barcelona: Ariel.
- Bunge, M. (1977a). “General systems and holism”. *General Systems* **22**: 87-90
- Bunge, M. (1977b). *Treatise on Basic Philosophy*. Vol. 3, *the Furniture of the World*. Dordrecht: D. Reidel.
- Bunge, M. (1979). *Treatise on Basic Philosophy*. Vol. 4, *A World of Systems*. Dordrecht: D. Reidel.
- Bunge, M. (2001). The GST Challenge to the Classical Philosophies of Science. En Martin Mahner edit. (2001). *Selected Essays of Mario Bunge: Scientific Realism* New York: Prometheus.
- Bunge, M. (2003). *Philosophical Dictionary*. New York: Prometheus.
- Checkland, P. B. (1979a). *The Shape of the systems movement* *Journal of Applied Systems Analysis*, **6**.
- Checkland, P. B. (1979b). “Techniques in “Soft” systems practice”. Parts 1 and 2 *Journal of Applied Systems Analysis* **6**
- Checkland, P. B. (1981), (repr. 1984). *Systems Thinking, Systems Practice*. New York: Wiley
- Gray, W. & Rizzo, N. D. (1973). *Unity Through Diversity: a Festschrift for Ludwig von Bertalanffy*. New York: Gordon and Breach.
- Herrera J., R. (1991). “Sistemas Conceptuales de la Tecnología”. *Rev. Ingeniería* Universidad de Costa Rica, **1**(1), 67-68.
- Herrera J., R. (1992). “Los Sistemas Tecnológicos Concretos”. *Rev. Ingeniería*. **2** (2): 43-58.

- Herrera J., R. (1998). "Teorizando sobre la socio-naturaleza". *Filosofía XXXVI* (88/89), 401-412. Univ. de Costa Rica,
- Herrera J., R. (2002). "Un Mapa Sistémico". Extraído de: <http://cariari.ucr.ac.cr/~macalvoh/>
- Herrera J., R. (2003a). "Tecnología: una concepción general". En: Memorias de las IX Jornadas de Investigaciones Filosóficas (2003). Universidad de Costa Rica. Extraído de: <http://cariari.ucr.ac.cr/~macalvoh/>
- Herrera J., R. (2003b). "Las leyes de Kirchoff y las redes eléctricas de corriente continua". *Ingeniería 13* (1,2): 77-83.
- Herrera J. R. (2004a). "Ciencia, tecnología y sociedad: consideraciones filosóficas". En Memorias del V ESOCITE: V Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología: *La Construcción de la Tecnociencia en la Sociedad Contemporánea*. México: edit. Univ. Autónoma del Estado de México. Extraído de www.ocyot.org.co/@esocite
- Herrera J., R. (2004). Tecnología y Sociedad. Memorias del V ESOCITE: V Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología: *La Construcción de la Tecnociencia en la Sociedad Contemporánea*. México: Edit. Univ. Autónoma del Estado de México. Extraído de <http://cariari.ucr.ac.cr/~macalvoh/>
- Herrera J., R. (2005). "Teoría y Práctica: una polaridad ideológica". Memorias de las XI Jornadas de Investigaciones Filosóficas, *Filosofía*, Univ. de Costa Rica. Extraído de <http://cariari.ucr.ac.cr/~macalvoh/>
- Herrera J., R. (2006b). "El movimiento de los sistemas: resumen histórico". Extraído de <http://cariari.ucr.ac.cr/~macalvoh/>
- Herrera J., R. (2006c). "Sistémica: un resumen de definiciones". Extraído de <http://cariari.ucr.ac.cr/~macalvoh/>
- Herrera J., R. (2006d). "Bibliografía sobre Sistemas". Extraído de <http://cariari.ucr.ac.cr/~macalvoh/>
- Klir G. & Valach M. (1967). *Cybernetic Modelling*. London: Iliffe Books Ltd.; Prague: SNTL
- Orudzheev, Z. M. (1980). *La Dialéctica como Sistema*, México: Nuestro Tiempo.
- Phillips, D. C. (1970). "Systems Theory - A Discredited Philosophy". En "Organicism in the Late Nineteenth and the Early Twentieth Century" in *Journal of the History of Ideas*, vol. 3, no. 3, July September, 1970, pp. 413-32.
- Mesarovich, M. D.: (1964). *Views on General Systems Theory*. New York: Wiley.
- Rizo B., S. (1964). Aplicación de la Teoría de las Redes al Análisis de Estructuras Hiperestáticas. Tesis de Licenciatura, Escuela Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- Schoderbek P. P., Kefalas A. G. & Schoderbek C. G. (1975). "Management Systems: Conceptual Considerations". Dallas, Texas 72243: edit. Business Publications Inc., & Georgetown, Ontario, L7G 4B3: Irwin-Dorsey Limited.
- Strogatz S. H. (2003). *Sync. The Emerging Science of Spontaneous Order*. New York: Hyperion.
- Waldrop M. Mitchel. (1992). *Complexity*. New York: Simon & Schuster
- Wiener, N. (1950). *Cybernetics* Cambridge, Mass.: MIT Press and New York: J. Wiley /enlarged edition 1961).

SOBRE EL AUTOR

Dr. Ing. Rodolfo Herrera J.

Profesor *Emérito* Universidad de Costa Rica

Apdo: 106-2050

Correo electrónico: rodolfoh@racsa.co.cr.