

Una aproximación histórica a la teoría general de los sistemas

A historical approach to the general theory of systems

Dra. C. Esther María Pino Guzmán

epino@ucp.cm.rimed.cu

Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz"

La autora es Profesora Consultante de la Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz" y el Instituto Pedagógico Latinoamericano y Caribeño, tiene un doctorado en Ciencias Económicas y una experiencia de más de 35 años en la docencia de pregrado en universidades cubanas y extranjeras. Sobresalen en su producción científica los trabajos relacionado con el desempeño de los directivos y la investigación en dirección educacional.

RESUMEN

El artículo pretende examinar el desarrollo epistemológico de la teoría de sistemas, enfatizar en el cambio de paradigma científico en que se apoya, y señalar las principales implicaciones que lleva consigo para el desarrollo de la metodología de la investigación pedagógica y sus diseños. Los métodos teóricos empleados permitieron profundizar en las regularidades y cualidades esenciales de la realidad en la construcción y desarrollo de la teoría científica. El enfoque de sistema es uno de los métodos de mayor empleo y alcance en la Pedagogía. El enfoque de sistemas o un pensamiento sistémico constituye un requerimiento de la dirección general del estudio de los problemas pedagógicos. Este artículo explora los caminos que vinculan el desarrollo de la teoría de sistemas y la teoría de la complejidad en el ámbito de la pedagogía. Como resultado se obtuvo una aproximación histórica a la teoría general de sistemas hasta su manifestación en la teoría de la complejidad.

Palabras clave: Teoría general de los sistemas, interdisciplinaridad, complejidad.

ABSTRACT

The paper is intended to examine the epistemological development of the theory or systems, focus the change of its scientific paradigm and points out its main implications for the development of research methodology and design. The theoretical methods being used makes possible to go deeper into the analysis of regularities and essential qualities in the construction and development of the scientific theory. The system approach is one of the most frequently used method and the one of further reaching effect in Pedagogy. The system approach or systemic thinking is a requirement for the general direction of pedagogy problem studies. This paper explores the ways of interconnecting the theory of systems to the theory of complexity in the field of pedagogy. The findings include a historical approach to the theory of systems up to the spring up of the theory of complexity.

Key words: general theory of systems, interdisciplinary relations, complexity.

La perspectiva y meta de la teoría general de los sistemas (TGS) está dada en tratar de evitar la superficialidad científica. No es, en términos estrictos, una teoría científica a la manera de la teoría de la gravitación universal, la de la evolución o la de la relatividad, en el sentido de que no implica un cambio radical de paradigma, una revolución científica. Tiene mucho más en

común con las doctrinas filosóficas que con los modelos estructurados de las ciencias exactas. Esto alienta la búsqueda de las relaciones cualitativas que se generan entre los elementos de los sistemas sociales, como una alternativa integradora que puede ayudar a reestructurar la teoría social.

Se presenta de manera clara la naturaleza cualitativa de la complejidad al desprenderse de la habitual visión de ésta como una cuestión de número, de muchos elementos a considerar, y centrarse más en los aspectos de relación entre partes del sistema que se caracteriza como complejo. Este artículo tiene como objetivo reflexionar sobre la naturaleza y desarrollo epistemológico de la teoría general de sistemas.

Métodos

El estudio del que da cuentas este artículo es esencialmente teórico. Los métodos empleados en consecuencia son de igual carácter. Desde la perspectiva de la teoría de la complejidad se hace un análisis histórico-lógico y se emplea además el análisis y la síntesis, la inducción y la deducción, el método hipotético-deductivo, el tránsito de lo abstracto a lo concreto, y se toma como núcleo central el enfoque de sistemas.

Resultados

El estudio histórico-lógico realizado permitió profundizar en la naturaleza epistemológica de la teoría general de sistemas. No obstante para la comprensión del desarrollo epistémico que suponen los resultados de esta investigación, resulta indispensable partir de una conceptualización ya conocida, independientemente de la reformulación que en algunos casos ha sido necesaria realizar.

La teoría general de sistemas o teoría de sistemas es un estudio interdisciplinario que trata de encontrar las propiedades comunes e interrelaciones entre los componentes y elementos del mismo. Éstos se presentan en todos los niveles de la realidad, pero tradicionalmente son objetivos de disciplinas académicas diferentes. Según la TGS todos los objetos son sistemas o componentes de algún sistema. La TGS busca establecer un grado óptimo de generalidad, sin perder el contenido. Se distingue por su perspectiva integradora, donde se considera importante la interacción y los conjuntos que a partir de ella brotan.

Un *sistema* (es un objeto compuesto cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente; puede ser material o conceptual). Todos los sistemas tienen composición, estructura y entorno, pero sólo los sistemas materiales tienen mecanismo, y sólo algunos sistemas materiales tienen figura (forma). Lo antes dicho puede encontrarse en múltiples definiciones de sistema, la que propone Carnota es un ejemplo de ello “[...] conjunto de elementos, propiedades, atributos y relaciones que pertenecen a la realidad objetiva. Su aspecto más importante es que compone un todo, por lo tanto, presenta como resultado final un integrado de determinadas relaciones que no es posible localizar en ninguna de sus partes” (Carnota, 1980, pág 8).

Una organización particular determina a un sistema específico, el cual es independiente de la sustancia con la cual están hechos los elementos que lo conforman (partículas, células, transistores, personas, etc.).

En los años cuarenta del siglo XX, comienza un vivo interés por los estudios interdisciplinarios con el fin de explorar la tierra de nadie existente entre las ciencias establecidas. Estos estudios ponen de manifiesto la existencia de analogías (más bien isomorfismos) en la estructura¹ y comportamiento de sistemas de naturaleza muy distinta (sistemas biológicos, mecánicos, eléctricos, etc.) En esta misma década, von Bertalanffy proponía los fundamentos de una teoría de sistemas generales.

El concepto de sistema ha sido utilizado por dos líneas de pensamiento diferente, la primera es la teoría de sistemas generales, corriente iniciada por el biólogo y filósofo austriaco Ludwig von Bertalanffy, (1901-1972) aparece como una *metateoría*, una teoría de teorías (en sentido figurado), que partiendo del muy abstracto concepto de *sistema* busca reglas de valor general, aplicables a cualquier sistema y en cualquier nivel de la realidad. La TGS surgió debido a la necesidad de abordar científicamente la comprensión de los *sistemas concretos* que forman la realidad, generalmente complejos y únicos, resultantes de una historia particular, en lugar de *sistemas abstractos* como los que estudia la física. Desde el Renacimiento la ciencia operaba aislando los componentes de la realidad, como la masa, y aspectos de los fenómenos, como la aceleración gravitatoria. Bertalanffy acuñó la denominación a mediados del siglo XX, continuada por Boulding y otros que buscaba llegar a la integración de las ciencias. En 1954, Kenneth Boulding escribió un artículo que tituló "la teoría general de sistemas y la estructura científica" y en el propio 1954 se crea la Sociedad para la Investigación de Sistemas Generales. El programa de la sociedad era el siguiente:

1. Investigar el isomorfismo de conceptos, leyes y modelos en varios campos, y promover transferencias útiles de un campo a otro.
2. Favorecer el desarrollo de modelos teóricos adecuados en aquellos campos donde faltaren.
3. Reducir en lo posible la duplicación de esfuerzo teórico en campos distintos.
4. Promover la unidad de la ciencia, mejorando la comunicación entre los especialistas.

Entre 1949 y 1955 W. Ross Ashby² y Norbert Wiener³ desarrollaron la teoría matemática de la comunicación y control de sistemas a través de la regulación de la retro-alimentación

¹El concepto matemático de isomorfismo (del griego *iso-morfos*: igual forma) pretende captar la idea de tener la misma estructura. El descubrimiento de un isomorfismo entre dos estructuras significa esencialmente que el estudio de cada una puede reducirse al de la otra, lo que nos da dos puntos de vista diferentes sobre cada cuestión y suele ser esencial en su adecuada comprensión. También significa una analogía como una forma de inferencia lógica basada en la asunción de que dos cosas son la misma en algunos aspectos, aquellos sobre los que está hecha la comparación. En ciencias sociales, un isomorfismo consiste en la aplicación de una ley análoga por no existir una específica o también la comparación de un sistema biológico con un sistema social, cuando se trata de definir la palabra "sistema". Lo es igualmente la imitación o copia de una estructura tribal en un hábitat con estructura urbana.

² William Ross Ashby (Londres, 1903-1972) fue un médico y neurólogo inglés, que contribuyó decisivamente a la consolidación de la cibernética moderna y creó el primer homeostato (1951). Desde las especialidades de la neurología y la psiquiatría, ofreció la reproducción de la estructura y mecanismos de funcionamiento del cerebro humano en sus obras *Proyecto para un cerebro* (1952) e

(cibernética), que se encuentra estrechamente relacionada con la teoría de control. En 1970 René Thom⁴ y E.C. Zeeman plantean la teoría de las catástrofes, rama de las matemáticas de acuerdo con bifurcaciones en sistemas dinámicos, que clasifica los fenómenos caracterizados por súbitos desplazamientos en su conducta.

En 1980 David Ruelle, Edward Lorenz,⁵ Mitchell Feigenbaum⁶, Steve Smale y James A. Yorke describen la teoría del caos, una teoría matemática de sistemas dinámicos no lineales que describe bifurcaciones, extrañas atracciones y movimientos caóticos. John H. Holland⁷, Murray Gell-Mann,⁸ Harold Morowitz, W. Brian Arthur, y otros en 1990 plantean el Sistema adaptativo complejo (CAS), una *nueva* ciencia de la complejidad que describe surgimiento, adaptación y auto-organización.⁹ Fue establecida fundamentalmente por investigadores del Instituto de Santa Fe y está basada en simulaciones informáticas. Incluye sistemas de multi-agente que han llegado a ser una herramienta importante en el estudio de los sistemas sociales y complejos. Es todavía un activo campo de investigación.

La segunda línea de pensamiento, es más práctica y se conoce como Ingeniería de Sistemas y fue iniciado por la investigación de operaciones, seguido por ciencias de la administración y el análisis de sistemas. El estructural-funcionalismo norteamericano, encabezado por Talcott Parsons cuyos trabajos han dominado la sociología norteamericana y hasta cierto punto la occidental desde 1950 hasta la actualidad, constituye un aspecto del estructuralismo filosófico que incorpora la visión funcionalista de la sociedad, la idea de la estructura y de sistema. Se trata de una fase más refinada y elaborada del funcionalismo tradicional, conservando todos los caracteres de éste. El sistema social. Según Parsons sólo puede operar obedeciendo a cuatro imperativos o necesidades funcionales: la búsqueda de objetivos, la estabilidad normativa y la integración de los individuos y la adaptación.

A partir de lo expuesto, el sistema social se subdividiría en subsistemas, que revelarían cada una sus estructuras propias, La estructura política correspondería a la búsqueda de objetivos, la estructura jurídica a la integración y la estructura económica a la adaptación. (Parsons 1959, 1955)

Introducción a la cibernética (1956). En este último libro realiza un acucioso análisis matemático-lógico, para mostrar las estructuras básicas de control y retroalimentación y desarrolla conceptos como matrices de representación de estados, retroalimentación, transiciones de estado.

³ Norbert Wiener (Missouri, 1894-1964) es conocido como el fundador de la cibernética.

⁴ René Thom (Montbéliard, 1923 -2002). Matemático francés fundador de la teoría de las catástrofes.

⁵ Edward Norton Lorenz (1917-2008) fue un matemático y meteorólogo estadounidense, pionero en el desarrollo de la teoría del caos. Fue quien introdujo el concepto de atractores extraños y acuñó el término efecto mariposa.

⁶ Mitchell Jay Feigenbaum (Filadelfia, 1944-) es un matemático y físico considerado uno de los pioneros en la Teoría del Caos que llevó al descubrimiento de los Números de Feigenbaum.

⁷ John Henry Holland (1929-) pionero en sistemas complejos y ciencia no lineal. También es conocido como el padre del Algoritmo genético.

⁸ Murray Gell-Mann (Nueva York, 1929-) es un físico estadounidense que descubrió sobre partículas elementales. La teoría de Gell-Mann aportó orden al caos que surgió al descubrirse cerca de 100 partículas en el interior del núcleo atómico. Esas partículas, además de los protones y neutrones, estaban formadas por otras partículas elementales llamadas quarks.

⁹ Un sistema adaptativo complejo (CAS, del inglés *complex adaptive system*) es un tipo especial de sistema complejo; es complejo en el sentido de que es diverso y conformado por múltiples elementos interconectados; y adaptativo, porque tiene la capacidad de cambiar y aprender de la experiencia.

De esta clasificación y de su análisis, lo menos que se puede decir es su carácter subjetivo y arbitrario, ya que para Parsons y sus seguidores el sistema social y sus estructuras tienden a la adaptación, la estabilidad social y no al cambio, pero además no establece una distinción clara entre estructura y sistema.

La teoría general de sistemas en su propósito más amplio, contempla la elaboración de herramientas que capaciten a otras ramas de la ciencia en su investigación práctica. Aunque la TGS surgió en el campo de la Biología, pronto se vio su capacidad de inspirar desarrollos en disciplinas distintas y se apreció su influencia en la aparición de otras nuevas. Así se ha ido constituyendo el amplio campo de la *sistémica* o de las *ciencias de los sistemas*, con especialidades como la cibernética, la teoría de la información, la teoría de juegos, la teoría del caos o la teoría de las catástrofes. En algunas, como la última, ha seguido ocupando un lugar prominente la Biología.

Más reciente es la influencia de la TGS en las ciencias sociales. Destaca la intensa influencia del sociólogo alemán Niklas Luhmann,¹⁰ que ha conseguido introducir sólidamente el pensamiento sistémico en esta área.

La ciencia de sistemas plantea paradigmas diferentes de los de la ciencia clásica, observa totalidades, fenómenos, isomorfismos, causalidades circulares, y se basa en principios como la subsidiariedad, multicausalidad, determinismo, complementariedad, y de acuerdo con las leyes encontradas en otras disciplinas y mediante el isomorfismo, plantea el entendimiento de la realidad como un complejo, con lo que logra su transdisciplinariedad, y multidisciplinariedad.

En este sentido resulta necesario además, determinar las condiciones que debe poseer y el carácter funcional de todo sistema: *"El sistema es un conjunto de elementos que cumple tres condiciones: 1) Los elementos están interrelacionados; 2) el comportamiento de cada elemento o la forma en que lo hace afecta el comportamiento del todo; 3) la forma en que el comportamiento de cada elemento afecta el comportamiento del todo depende al menos de uno de los demás elementos. (Lara, 1990, pág. 7)"*

"El sistema no es solamente un conjunto de componentes y propiedades cuyas relaciones e interacciones engendran una nueva cualidad integradora, sino también el carácter funcional o la funcionalidad y la interfuncionalidad entre los componentes integrantes (Samoura, 1999, pág. 20)."

En esta explicación de Samoura deben ser destacados al menos tres aspectos: 1) la principal particularidad definitoria de un sistema es la existencia de una cualidad resultante, que ninguna de sus partes puede ofrecer funcionando de manera aislada y que no se reduce a la

¹⁰ Niklas Luhmann (Baja Sajonia, 1927-1998) sociólogo alemán, quien publica en 1964 la primera obra dedicada a analizar problemas sociológicos a partir del uso de la teoría de sistemas: *"Funktionen und Folgen formaler Organisation"* La teoría de Luhmann gira en torno al concepto de comunicación. Por comunicación no entiende una acción humana en el sentido de Habermas, ni un fenómeno tecnológico, ni un intercambio de información. Los hombres no pueden comunicar, *"solo la comunicación comunica"*. Según Luhmann, los sistemas sociales emergen.

suma de las propiedades de todos sus componentes; 2) se descubre la fuente de esa cualidad integradora, al asegurar implícitamente que la misma es generada por las relaciones e interacciones entre los componentes del sistema; y 3) se precisa que el sistema no es solamente un conjunto de componentes y propiedades [...] sino también [...] la funcionalidad y la interfuncionalidad entre los componentes donde se revela la naturaleza sistémica de esas relaciones e interacciones.

De esta manera se precisó que existe un componente esencial en todo sistema, al que la literatura especializada no siempre brinda la atención que requiere: Su vía de funcionamiento, determinada por el modo en que entre sus componentes y elementos se producen relaciones e interacciones funcionales, de las cuales emana la cualidad resultante de todo el sistema.

Tanto la llamada teoría general de sistemas como el enfoque de sistema (metodología que se desprende ella), parten de la interrelación dialéctica que existe entre las categorías filosóficas de lo universal, lo particular y lo singular. La interrelación dialéctica entre estas categorías permite explicar la concatenación existente entre otras de similar grado de generalidad, como son el todo y la parte, lo complejo y lo simple, así como el análisis y la síntesis. El foco de la teoría general de sistemas se encuentra en el estudio de la organización y relaciones entre las partes de un todo (holón)¹¹.

Pero no se puede llegar a profundizar en la teoría general de sistemas en este siglo XXI, en que la invención tecnológica avanza a velocidad supersónica, se amplía el acceso a la información y se modifica las relaciones entre los seres humanos sin analizar la trascendencia e interrelación de la teoría de la complejidad en el desarrollo de la TGS. En la actualidad es abundante la polémica en campos que van desde la física a las ciencias sociales, sobre la teoría de sistemas y la complejidad, cuestión que esta autora trata detalladamente en el curso ofrecido en el Congreso Pedagogía 2009. Se señalaba entonces y reafirma ahora, que no se pone en dudas, que es básico partir de la complejidad del mundo en que se vive y del propio ser humano, pero para ello es necesario comenzar por analizar textualmente los planteamientos de Engels, sin cuya comprensión filosófica sería muy difícil avanzar en el conocimiento de la complejidad en la TGS, que aquí se aborda. Engels explica con claridad meridiana la complejidad de la naturaleza y la sociedad.

¹¹ Un holón es algo que es a la vez un todo y una parte. La palabra fue acuñada por Arthur Koestler en su libro *El espíritu de la bóveda*. Un holón es un sistema o fenómeno que es un todo en sí mismo así como es parte de un sistema mayor. Cada sistema puede considerarse un holón, ya sea una partícula subatómica o un planeta. En un ámbito no físico, las palabras, ideas, sonidos, emociones y todo lo que puede identificarse es a la vez parte de algo y a la vez está conformado por partes.

Dado que un holón está encuadrado en *todos* mayores, está influido por que influye a los *todos* mayores. Y dado que un holón contiene subsistemas o partes está influido a su vez por e influye a estas partes. La información fluye bidireccionalmente entre sistemas menores y mayores. Con esta bidireccionalidad del flujo de información, el sistema empieza a desmoronarse: los todos no reconocen depender de sus partes subsidiarias y las partes no reconocen más la autoridad organizativa de los todos. Una jerarquía de holones recibe el nombre de holoarquía. El modelo holoárquico puede entenderse como un intento de modificar y modernizar las percepciones de la jerarquía natural. Los holones se emplean en el estudio de funciones cognitivas asociadas a la conciencia, en determinadas ramas de investigación en informática. En el sentido de autosemejanza, los holones tienen gran similitud con las fractales.

“Según la concepción materialista de la historia, el factor que en última instancia determina la Historia es la producción y la reproducción de la vida real. Ni Marx ni yo hemos afirmado nunca más que esto. Si alguien lo tergiversa diciendo que el factor económico es el único determinante, convertirá aquella tesis en una frase vacua, abstracta, absurda [...] (Engels, Carta a Carlos Kautsky, 1980, pág. 508)”

“Somos nosotros mismos quienes hacemos nuestra historia, pero en primer lugar, con arreglo a premisas y condiciones muy concretas. Entre ellos son las económicas las que deciden en última instancia [...] (Engels, Engels a José Bloch , 1980, pág. 514)”

“La historia se hace de tal modo, que el resultado final siempre deriva de los conflictos entre muchas voluntades individuales, cada una de las cuales a su vez es lo que es por efecto de una multitud de condiciones especiales de vida; son pues innumerables fuerzas que se entrecruzan las unas con las otras, un grupo infinito de paralelogramos de fuerzas de las que surge una resultante (el acontecimiento histórico) que a su vez, puede considerarse producto de una fuerza única, que, como un todo, actúa sin conciencia y sin voluntad. Pues lo que uno quiere tropieza con la resistencia que le ofrece el otro, y lo que resulta de todo ello es algo que nadie ha querido [...] (Engels, Engels a José Bloch , 1980, pág. 515)”

Por su parte, José Carlos Mariátegui, teórico del marxismo leninismo fundacional en América latina, en *La Unidad de la América Indo-Española* planteó: *“Por muy escaso crédito que se conceda a la concepción materialista de la historia, no se puede desconocer que las relaciones económicas son el principal agente de la comunicación y la articulación de los pueblos. Puede ser que el hecho económico no sea anterior ni superior al hecho político. Pero, al menos, ambos son consustanciales y solidarios [...] (Mariátegui, 1924).”*

La teoría de la complejidad que se basa en el principio según el cual los procesos causales no lineales producen un comportamiento no determinista, comienza a tomar cuerpo, a partir de los trabajos de Edward Lorenz ¹² sobre predicción del clima a largo plazo. Para ello, definió un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales que son una simplificación de las ecuaciones en derivadas parciales de la convección de fluidos.

El resultado de la resolución de estas ecuaciones mostraba un movimiento muy complejo de las partículas del fluido y una extraordinaria sensibilidad de las predicciones a las condiciones iniciales, a medida que aumentaba el periodo de predicción. Lo definió como el efecto mariposa. Una mariposa volando en un extremo del planeta modifica, a largo plazo, el pronóstico del tiempo atmosférico (no del clima) en el otro extremo, lo que ha hecho que la teoría de la complejidad se asocie vulgarmente al efecto mariposa, o que se la defina como la sensibilidad de la dinámica a las condiciones iniciales, que ha motivado que este fenómeno sea conocido metafóricamente como *‘efecto mariposa’*. Lorenz mostró sus resultados en 1963 en el artículo titulado: *“Flujo determinista no periódico”*, publicado en una revista de meteorología no muy popular en esa época, por lo que estuvo prácticamente perdido durante

¹² Lorenz E J. fue un matemático y meteorólogo estadounidense, pionero en el desarrollo de la teoría del caos. Fue quien introdujo el concepto de atractores extraños y acuñó el término efecto mariposa

toda una década, hasta que en 1972 James A. Yorke y Robert May, lo divulgan en su artículo *Period three implies chaos* publicado en 1975 (Martínez, 2006, pág. 11).

Se conoce también a la teoría de la complejidad como teoría del caos, debido al análisis que hace Lorenz de los comportamientos dinámicos aperiódicos, es decir oscilaciones irregulares que no se repiten nunca, deterministas y que presenta gran sensibilidad a las condiciones iniciales, lo que nos inspira una situación de caos. Conjuntamente con la teoría de las catástrofes, la topología, la geometría fractal, la teoría de los juegos, la lógica difusa, la inteligencia artificial, la teoría general de sistemas, la cibernética, la teoría de la información, y otros enfoques y estudios interdisciplinarios, forman parte de las corrientes fundamentales de investigación relacionadas con los estudios de la complejidad.

La idea fundamental de las teorías de la complejidad consiste en considerar algunos sistemas, tanto naturales como sociales, como sistemas complejos formados por agentes individuales que interactúan, a esta concepción contribuyeron los trabajos de Kauffman¹³ e Ilya Prigogine. En la dinámica de estos sistemas se producen interacciones de carácter no lineal que hacen que no puedan tratarse de la misma forma que los sistemas simples. Estas interacciones dan lugar a la característica fundamental de los sistemas complejos: la emergencia de patrones de comportamiento a escala superior que no pueden predecirse a partir de las interacciones entre los agentes individuales. Los sistemas sociales pueden considerarse sistemas complejos (Afanasiev, 1975). Así, la teoría de la complejidad nos permite, en el análisis de los sistemas sociales, combinar el tratamiento de los agentes desde un punto de vista individual con la visión sistémica de conjunto que hace falta para entender los fenómenos emergentes a escala global. Por otra parte, las reglas que explican la actuación de los agentes a escala micro dan lugar a la comprensión a escala macro.

Afanasiev afirma *“los sistemas integrales tienen sus relaciones propias, específicas. Las más típicas son las de coordinación y las de subordinación”* (1975, pág.11) y luego precisó: *“[...] a un todo social le son inherentes no ya sólo las relaciones de coordinación y concordancia, sino también las de subordinación y de co-subordinación”* (pág. 90).

Existen tres caminos de la complejidad que articulan manifiestamente la lógica de la complejidad en el pensamiento sistémico, en maneras y en grados bastante diferentes: 1) la complejidad como método, que es conocido como pensamiento complejo, y se condensa en la obra de Edgar Morin; 2) la complejidad como cosmovisión que comprende a la Escuela de Palo Alto (E.E.U.U.), con G. Bateson¹⁴, como su más claro representante; 3) la complejidad como ciencia que es la rama más amplia e importante y está representada por I. Prigogine¹⁵, H.

¹³ Stuart Alan Kauffman (1939-) es uno de los biólogos teóricos más relevantes en el ámbito de la complejidad biológica. Sus trabajos en simulación de redes genéticas (modelo de redes booleanas) han mostrado cómo fenómenos biológicos básicos como los ciclos autocatalíticos requeridos en el origen de la vida o la agrupación de tipos celulares necesaria para la emergencia de la multicelularidad son resultados altamente probables de la variación aleatoria en redes químicas y genéticas.

¹⁴ Gregory Bateson (1904-1980) antropólogo, científico social, lingüista y cibernético cuyo trabajo intersecta con muchos otros campos intelectuales. Con su trabajo, Bateson logró conjugar la neurolingüística con la psicología del lenguaje, o psicolingüística, para construir un nuevo modelo experimental y buscar una meta común: formular una teoría sistémica de la comunicación.

¹⁵ Ilya Prigogine (en ruso

Maturana¹⁶, F. Varela, S. Kauffman, P. Bak, CH. Langton y muchos otros.

La complejidad como método trata de una verdadera investigación de punta sobre cibernética, teoría del caos, principio de indeterminación y ciencia cognitiva. Una de sus formas fuertes de trabajo y desarrollo es la forma misma de los lenguajes de ordenadores, como los programas de simulación. Morin introduce la necesidad de concebir y desarrollar un nuevo método, designado como anti-método, en tanto surge como un intento distinto al de la ciencia clásica. Para muchos el mérito central de la teoría de la complejidad como método es el "pensamiento relacional", una de las características distintivas del trabajo de Edgar Morin, que consiste en el aprendizaje del pensamiento relacional. Pero el mismo método de "pensamiento relacional", no es simplemente un pensamiento como señala Morin, sino una actitud general hacia el mundo, la naturaleza, la vida, en resumen, hacia el propio conocimiento, hacia el tipo de relaciones e interrelaciones que establecemos con el mismo conocimiento y con la propia vida en el que no es posible avanzar sin tener necesariamente en cuenta lo planteado por Marx en las tesis sobre Feuerbach, según la cual la filosofía se reduce tan sólo a ser una interpretación del mundo, cuando debería tener como misión transformarlo. He ahí la piedra angular del pensamiento sistémico y no solamente la interpretación que da Morin al pensamiento relacional

La Escuela de Palo Alto en California formulada por G. Bateson introduce el pensamiento sistémico en toda la línea de las discusiones y en las formas mismas de trabajo científico con lo que asume la complejidad como cosmovisión, incluyendo la administración de empresas, pero matizado, como ya hemos señalado, del estructural funcionalismo de Parsons. El pensamiento complejo se desarrolla en la forma misma de pensamiento sistémico, en donde el problema fundamental que se constituye en el eje del pensamiento de Bateson, es lo que él denomina "la búsqueda de la pauta que conecta.

El siglo XX marcó un adelanto científico que superó enormemente los ocurridos en siglos anteriores; al asumir la complejidad como ciencia nos mostró, entre muchas cosas, el valor de la vaguedad desde diversos ángulos, el tiempo, la irreversibilidad, la relatividad, la incertidumbre, la existencia de más de una solución posible para los problemas con los mismos valores y con los mismos parámetros, la inestabilidad del movimiento y las bifurcaciones, la importancia de las inconsistencias no triviales, (todo dentro de los sistemas en estudio). Pero, al mismo tiempo, asimilamos que podríamos referirnos al mundo de un modo diferente, a partir del ordenador. Nos ejercitamos en la simulación de la realidad y de los procesos. Este es el rasgo distintivo fundamental de toda la complejidad, comprender la vida tal y como es y, correlativa y paralelamente, tal y como podría ser. Desde los años 1960 y 1970 hablamos de ínter, trans o intra y multidisciplinariedad, como forma de pensar y de proceder para conocer la complejidad de la realidad objetiva y resolver cualquiera de los complejos problemas que esta plantea, a lo que propiamente se configura como "territorio de frontera" en el cual existe una relación horizontal y abierta entre las ciencias y la filosofía, entre las ciencias y las artes.

¹⁶ Humberto Maturana Romesín (1928-) biólogo y epistemólogo chileno. Desarrolló en la década de los setenta el concepto de autopoiesis, el que da cuenta de la organización de los sistemas vivos como redes cerradas de autoproducción de los componentes que las constituyen.

Gregori Nicolis e Ilya Prigogine plantean “[...] *La complejidad se ha relacionado hasta ahora siempre con la capacidad de poder pasar de un comportamiento a otro cuando cambian las condiciones del entorno. La flexibilidad y adaptabilidad consecuencia de dicha capacidad conducen a su vez al concepto de elección entre las diversas posibilidades que se ofrecen. Como hemos resaltado con anterioridad, esta elección se lleva a cabo a través de la dinámica de las fluctuaciones y exige la participación de sus dos manifestaciones antagónicas: la aleatoriedad de corto alcance, como elemento innovador, para que se pueda explorar el espacio de estados; y el orden de gran alcance, para que el sistema pueda mantener un régimen colectivo en áreas macroscópicas del espacio y a lo largo de intervalos temporales macroscópicos.*

Suposición necesaria para todos estos fenómenos es una dinámica lineal que, cuando hay las limitaciones adecuadas, conduce a la inestabilidad del movimiento y a bifurcaciones. Por este motivo el primer paso lo constituye el establecimiento de modelos del comportamiento complejo, la determinación del carácter no lineal de la dinámica subyacente y la identificación de un conjunto de variables que puedan representar la inestabilidad y las bifurcaciones [...]” (Nicolis & Nicholis, 1984, pág 291).

Es decir, el pensamiento complejo no rechaza, de ninguna manera, a la claridad, el orden, el determinismo. Pero los considera insuficientes, reflexiona que no podemos programar el descubrimiento, el conocimiento, ni la acción. La complejidad sistémica necesita una estrategia; los segmentos programados en secuencias en las que no interviene lo aleatorio, son útiles y necesarios y en situaciones normales, la conducción automática es posible, pero la estrategia se establece siempre que acontece lo inesperado o lo incierto.

Vivimos un mundo cambiante, un cambio de época, que adopta velocidades ascendentes, un mundo creciente y altamente complejo y por lo tanto no lineal. Un mundo dinámico, imprevisible, con múltiples conexiones, un mundo además irreversible, finito, polifónico, hologramático y de ubicuidades (Pino, 1992, págs 1-11).

La sociedad no es solo un contexto, es un sistema, que forma parte de los sistemas no lineales donde hay propiedades emergentes, que aparecen como resultado de la interacción entre sus partes y que no pueden explicarse a partir de las propiedades de sus elementos y componentes. Pero la complejidad no es, necesariamente, sinónimo de complicación.

La sociedad constituye, uno de los sistemas no lineales más complejos y dinámicos que existe, al estar compuesto por varias partes *interconectadas* o *entrelazadas* cuyos vínculos crean información adicional no visible antes por el observador. Como resultado de las interacciones entre sus elementos, surgen propiedades, cualidades nuevas que no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados. Dichas propiedades se denominan propiedades o cualidades emergentes. El *nivel de complejidad* varía en relación al *nivel de propiedades*. La sociedad por tanto no es simplemente un contexto, es también un sistema no lineal complejo.

La hipótesis de la frontera del caos establece que la complejidad aparece en unas condiciones muy especiales, conocidas como puntos críticos, o puntos de bifurcación. En dichos momentos

orden y desorden coexisten, formándose estructuras fractales¹⁷ que se caracterizan por presentar un aspecto autosemejante a diferentes escalas. La sociedad es un sistema, un todo organizador al cual pertenecemos y que forma parte a su vez de un contexto, de un todo organizador y desorganizador del que es parte, por lo que la sociedad como un todo está presente en el interior de cada individuo, que lo hace un ser bio-psico-social. Por tanto, la sociedad y el ser humano constituyen unidades complejas¹⁸, por cuanto son inseparables los elementos diferentes, diversos, que constituyen el todo, ya que existe un tejido interdependiente, interactivo e interretroactivo entre las partes y el todo, y viceversa entre ellos. Es decir que la complejidad está en la unión entre la unidad, diversidad y la multiplicidad.

No se puede hablar de sociedad en abstracto. A lo largo de la historia humana se ha evolucionado por diferentes formaciones económico sociales, que no son más que sistemas en sí mismos vista esta evolución producto de una desviación de lo establecido cuyo desarrollo trasforma el sistema donde ella misma ha nacido, se desorganiza el sistema, reorganizándolo.

Conclusiones

La naturaleza y desarrollo epistemológico de la Teoría de Sistemas ha tenido un enorme impacto, tanto en el campo de la teoría como en la tecnología. El cambio de paradigma científico en que se apoya supera la visión atomística e individualista de la realidad, ya que la ve como un proceso complejo de agregación o de combinación creciente de partes o elementos originalmente autónomos, independientes o aislados entre sí, por lo que resulta indispensable para considerar la relación de un problema pedagógico particular con las condiciones del medio y para identificar los factores y variables que afectan una situación dada, ya que implica en el investigador una cierta estructura mental que le impulsa a buscar constantemente en la realidad a los sistemas. O sea, ver el proceso pedagógico en toda su complejidad, en el que las acciones educativas están concatenadas unas con otras en torno al logro de ciertos objetivos comunes previamente seleccionados.

Por tanto la primera tarea que se le impone al investigador es la de identificar los sistemas, determinar cuándo un sistema lo es y cuando no lo es, es decir definir sus límites y fronteras. El segundo paso es proceder al análisis de la complejidad de sus componentes y determinar las relaciones y en tercer lugar desarrollar el sistema, es decir las modalidades de aplicación y mejoramiento. Ello supone que, en la medida que los sistemas se hacen más complejos, la

¹⁷ Fractal, en matemáticas, figura geométrica con una estructura compleja y pormenorizada a cualquier escala. Normalmente los fractales son *autosemejantes*, es decir, tienen la propiedad de que una pequeña sección de un fractal puede ser vista como una réplica a menor escala de todo el fractal. Un ejemplo de fractal es el "copo de nieve", curva que se obtiene tomando un triángulo equilátero y colocando sucesivos triángulos, cada vez de menor tamaño, en el tercio medio de los lados cada vez más pequeños. En teoría, el resultado es una figura de superficie *finita* pero con un perímetro de longitud *infinita*, y con un número infinito de vértices. En el lenguaje matemático del cálculo, dicha curva no se puede diferenciar. Se pueden construir muchas de estas figuras repetitivas aunque desde su aparición en el siglo XIX se habían considerado como un concepto extravagante. . En 1987, el matemático inglés Michael F. Barnsley descubrió la transformación fractal, capaz de detectar fractales en fotografías digitalizadas. Este descubrimiento engendró la compresión fractal de imágenes, utilizada en multimedia y otras aplicaciones basadas en la imagen.

¹⁸ Complexus: lo que está tejido junto

consideración del entorno y de la incertidumbre en la explicación de los fenómenos y de su comportamiento cobra mayor importancia.

La teoría general de los sistemas no debe ser vista como una metodología aplicable a todas las disciplinas de la ciencia, sino además como una contribución a la comprensión de las relaciones existentes entre ellas.

Recibido: julio 2013

Aprobado: octubre 2014

Bibliografía

- Afanasiev, V. (1975). *Dirección Científica de la Sociedad*. Moscú: Progreso.
- Carnota, O. (1980). *Curso de administración para dirigentes*. La Habana: Ciencias Sociales.
- Engels, F. (1980). Carta a Carlos Kautsky del 12 de septiembre de 1882. En *Obras Escogidas en tres tomos* (Vol. III). Moscú: Progreso.
- Engels, F. (1980). Engels a José Bloch . En *Obras Escogidas en tres tomos* (Vol. III). Moscú: Progreso.
- Lara, F. (1990). Metodología para La Planeación de Sistemas: Un Enfoque Prescriptivo". En *Cuaderno De Planeación Universitaria*. México: Siglo XI.
- Mariátegui, J. C. (6 de diciembre de 1924). La Unidad de la América Indo-Española . *Variedades*.
- Martínez, F. (2006). Fundamentos histórico-filosóficos de la complejidad. *Evento Internacional Complejidad-2006* . La Habana.
- Morin, E. (2007). *Los siete saberes de la educación del futuro*. Lima: Magisterial.
- Nicholis, P., & Nicholis, G. (1984). *La estructura de lo complejo*. Monterrey: Alianza Universidad.
- Parsons, T. (1955). *Economy and Society*. Illinois: University of Illinois.
- Parsons, T. (1959). *The Social System*. Illinois: University of .
- Pino, E. M. (1992). *Particularidades de la formación y desarrollo de la cultura de autodirección social de los cuadros de dirección y su correspondencia con los programas de desarrollo del territorio. Tesis doctoral inédita*. Camagüey: Universidad de Camagüey.
- Pino, E. M. (2009). La dirección científica educacional en la compleja sociedad del siglo XXI. Curso 20 . *Congreso Internacional Pedagogía 2009*. Ciudad de La Habana: Órgano editor Educación Cubana ISBN 978-959-18-0428-0.
- Pino, E. M. (2009). La dirección científica educacional en la compleja sociedad del siglo XXI. Curso 20 . *Congreso Internacional Pedagogía* . Ciudad de La Habana: Órgano editor Educación Cubana ISBN 978-959-18-0428-0.
- Samoura, K. (1999). *Diseño de un modelo sistémico de dirección científica y metodológica de La Educación Física y el deporte. Tesis doctoral inédita. presentada en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Pedagógica*. La Habana: Instituto Superior de Cultura Física "Manuel Fajardo".