

TEORÍAS SOBRE LOS SISTEMAS COMPLEJOS



Yezid Soler B.

Economista y magíster de la Universidad Nacional de Colombia. Doctorante en sistemas complejos (Multidiversidad Mundo Real Edgar Morin). Funcionario del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Colombia.
Contacto: ouiyesi@yahoo.com

Resumen

En la segunda mitad del siglo xx y en los comienzos del siglo xxi se intensificó el abordaje de la complejidad, de forma explícita y sistemática, desde diversas perspectivas conceptuales y experimentales. En el ámbito del Estado, la dinámica del mundo contemporáneo exige contar con nuevas herramientas teóricas y prácticas de los sistemas complejos para la formulación y ejecución de nuevas políticas públicas. En este artículo se tratan, en particular, los aportes efectuados por Edgar Morin, Bertalanffy, Boaventura, Holland, Maldonado, Medina, Murray, Prigogine y Simon, entre otros. Estos autores retoman y articulan diversas nociones, proposiciones, conceptos y categorías que, desde diversas trayectorias disciplinares, definen la complejidad y los sistemas complejos, sus principios, estrategias, caracterización, acuerdos y conflictos. En la segunda parte del documento se presentan la postura personal del autor sobre el tema, las nociones, proposiciones y conceptos emergentes y la perspectiva para el diseño de la investigación. Con estos elementos se pretende aportar otra mirada a las diversas teorías y necesidades científicas para resolver los problemas del mundo contemporáneo.

Palabras clave

Complejidad, sistemas, sistemas complejos, ciencias de la complejidad, economía pública.

Theories on complex systems

Abstract

In the second half of the 20th century and at the beginning of the 21st century the complexity approach was intensified, in an explicit and systematic way, from diverse conceptual and experimental points of view. In the scope of the State, the dynamics of the contemporary world demands having new theoretical and practical tools of complex systems for the formulation and execution of new public policies. This article addresses, in particular, the contributions made by Edgar Morin, Bertalanffy, Boaventura, Holland, Maldonado, Medina, Murray, Prigogine and Simon, among others. These authors recapture and articulate different notions, proposals, concepts and categories that, from different disciplinary trajectories, define complexity and complex systems, their principles, strategies, characterization, agreements and conflicts. The second part of the document introduces the personal position of the author on the subject, the emerging notions, proposals and concepts and the perspective for the design of the research. With these elements it is intended to contribute with another glance to the different theories and scientific needs to solve the problems of the contemporary world.

Key words:

Complexity, systems, complex systems, sciences of complexity, public economy.

Théories des systèmes complexes**Résumé**

Dans la seconde moitié du xx siècle et le début du XXI siècle, l'approche de la complexité, en tant que concept explicite et systématique, s'est intensifiée à partir des diverses perspectives conceptuelles et expérimentales. Au niveau de l'État, la dynamique du monde contemporain exige de disposer de nouveaux outils théoriques et pratiques des systèmes complexes pour la formulation et la mise en œuvre de nouvelles politiques publiques. Cet article reprend notamment les arguments avancés par Edgar Morin, Bertalanffy, Boaventura, Holland, Maldonado, Medina, Murray, Prigogine et Simon entre autres. Ces auteurs reprennent et articulent les différentes notions, hypothèses, concepts et catégories qui, selon différentes disciplines, définissent la complexité, les systèmes complexes, leurs principes, stratégies, spécificités, accords et conflits. Dans la deuxième partie du document le point de vue personnel de l'auteur est exposé sur ce sujet, les notions, hypothèses et concepts émergents ainsi que la vision adoptée lors de la recherche. Avec ces éléments, l'on prétend apporter un autre regard sur les différentes théories et besoins scientifiques permettant de résoudre les problèmes du monde contemporain.

Mots-clés:

Complexité, systèmes, systèmes complexes, science de la complexité et économie publique.

Teorias sobre os sistemas complexos**Resumo**

Na segunda metade do século xx e nos primórdios do século XXI aumentou a abordagem da complexidade, de forma explícita e sistemática, a partir de diversas perspectivas conceituais e experimentais. No âmbito do Estado, a dinâmica do mundo contemporâneo exige novas ferramentas teóricas e práticas dos sistemas complexos para a formulação e execução de novas políticas públicas. Este artigo abrange, designadamente, as contribuições de Edgar Morin, Bertalanffy, Boaventura, Holland, Maldonado, Medina, Murray, Prigogine e Simon, entre outros. Estes autores retomam e articulam várias noções, proposições, conceitos e categorias que, com base em diversas trajetórias disciplinares, definem a complexidade e os sistemas complexos, seus fundamentos, estratégias, caracterizações, acordos e conflitos. Na segunda parte do documento apresentam-se a posição pessoal do autor sobre o assunto, as noções, proposições e conceitos emergentes bem como a perspectiva para o desenho da pesquisa. Com base nesses elementos tenta-se contribuir com um outro olhar sobre as diversas teorias e necessidades científicas no intuito de resolver os problemas do mundo contemporâneo.

Palavras chave:

Complexidade, sistemas, sistemas complexos, ciências da complexidade, economia pública.

JEL: H, H1, H8

Fecha de recepción: 15-11-2016

Fecha de aprobación: 15-06-2017

Cómo citar este artículo:

Soler, Y. (2017). Teorías sobre los sistemas complejos. *Administración y Desarrollo* 47(2), 52-69.

Presentación

El problema que se aborda en este artículo se centra en el modo predominante de comprender la complejidad. Una dimensión del problema consiste en el conocimiento parcial sobre algunos conceptos básicos, una segunda dimensión radica en la falta de comprensión de los diversos enfoques sobre el tema, y una tercera es el desconocimiento de las similitudes y diferencias que hay entre diversas teorías en torno a la complejidad. A partir de esta situación, el objetivo de este documento es aportar de forma organizada una serie de elementos conceptuales y teóricos que permitan una primera inmersión y comprensión de la heterogeneidad en las miradas acerca de este tema. Para tal efecto, la metodología consistió en una revisión de las obras de los autores más representativos de las vertientes de la complejidad y, mediante un análisis transdisciplinario, en presentar varias formas de definirla, así como en establecer los principios y estrategias postulados por las teorías, la caracterización de las mismas, su instrumental gnoseológico y sus disrupciones emergentes.

Definiciones de la complejidad

La *complejidad* se define de varias maneras según las múltiples formas en las que se articulan las diversas herramientas y operaciones del conocimiento¹. Al explorar el tema en sus diferentes corrientes, se encuentran distintas formas de asociación del concepto que parten de una variedad de principios y se mueven en escenarios de fronteras borrosas, como pensamiento complejo, complejidad restringida, complejidad organizada, sistemas complejos y teorías de la complejidad.

En opinión de Murray (1995), las teorías surgen de múltiples observaciones en las que se hace un esfuerzo por separar el trigo de la paja, es decir, las leyes de las circunstancias especiales o accidentales. Una teoría se formula como un principio o un conjunto de principios simples expresados en un mensaje relativamente corto, "como ha dicho Stephen Wolfram, es un paquete comprimido de información, aplicable a muchos casos particulares" (p. 94).

Edgar Morin, después de recorrer varios caminos en la búsqueda de un pensamiento político veraz que

fuera capaz de concebir la complejidad de lo real, escribió *El Método* (1993), en donde el concepto que da título a la obra se comprende como un proceso en gestación que se va formando en la misma búsqueda. Al respecto anotó que se debe disponer de un anti-método, donde la ignorancia, la incertidumbre y la confusión se vuelven virtudes (Morin, 1993 p. 16). Así mismo, Morin precisa que:

El pensamiento complejo debe cumplimentar condiciones muy numerosas para ser complejo: debe unir el objeto al sujeto y a su entorno; no debe considerar al objeto como objeto, sino como sistema / organización que plantea los problemas complejos de la organización. Debe respetar la multidimensionalidad de los seres y de las cosas. Debe trabajar / dialogar con la incertidumbre, con lo irracionalizable. Tampoco debe desintegrar el mundo de los fenómenos, sino intentar dar cuenta de él mutilándolo lo menos posible. (Morin, 1984, p. 353)

Para Morin, la complejidad es un tejido de constituyentes heterogéneos inseparablemente asociados que presentan la paradoja de lo uno y lo múltiple, de la incertidumbre, de la indeterminación y lo aleatorio, de la mezcla entre el orden y el desorden. De igual forma, abarca varios dominios del conocimiento:

La complejidad también consiste en referir este conocimiento de la naturaleza, particularmente biológico, a nuestras determinaciones antro-po-sociales. En otras palabras, siempre debemos ver que, al mismo tiempo que somos producto de una evolución biológica, la noción de evolución biológica es producto de una evolución socio-cultural [...] Diría incluso que en materia social, humana, política, la visión reductora / disyuntora / unidimensionalizante es demencia y criminalidad. (Morin, 1984, p. 355)

El Nobel de economía Hebert Simon (1969, citado por Medina y Ortegón, 2006, p. 219) considera complejo un sistema compuesto por un gran número de partes que interactúan en modo no simple. Niklas Luhman (citado por Medina y Ortegón, 2006, p. 219) añade la autonomía a esta multiplicidad de factores en juego. Tal concepto caracteriza los fenómenos que dependen solo de sí mismos, que son autorreferenciales en la medida en que definen de manera autónoma sus propios comportamientos posibles y sus leyes. Esta propiedad cualitativa de los fenómenos, que correlaciona una combinación de multiplicidad y de autonomía con la irreductibilidad de cada parte, se

¹ Existen entre 45 y más de 60 definiciones de complejidad (Horgan, 1995, citado por Maldonado, 2014).

maneja de forma eficiente por medio de módulos o jerarquías, aunque no en todos los casos. Desde esta perspectiva, la complejidad también genera procedimientos de simplificación para orientar y conducir los procesos de los sistemas. Y la incertidumbre y el azar pueden dar lugar a la operación del bucle complejificación / simplificación.

Para De Sousa (2009), los hechos observados se escapan a la ciencia tradicional que los sujeta, así como los objetos tienen fronteras cada vez más difusas y relaciones de tramas complejas con los objetos restantes. Este autor cuestiona la parcelación del conocimiento y el reduccionismo arbitrario y propende por la comprensión global:

En el paradigma emergente el conocimiento es total, tiene como horizonte la totalidad universal de que hablara Wigner o la totalidad indivisa de la que habla Bohm. Pero siendo total, es también local. Siendo local el pensamiento posmoderno es también total porque reconstruye también los proyectos locales, resaltándoles su ejemplaridad y por esa vía los transforma en pensamiento total ilustrado. (p. 49)

Para Maldonado (2014), la complejidad del mundo, la sociedad, la naturaleza y la vida consisten en los cruces, correspondencias, complementariedades, simetrías y asimetrías, tanto en la conmensurabilidad como en la inconmensurabilidad entre tiempos, escalas y densidades temporales diferentes (p. 84). Maldonado distingue entre sistemas simples, sistemas complicados y sistemas complejos. Un sistema simple puede ser entendido y gestionado en términos agregativos o

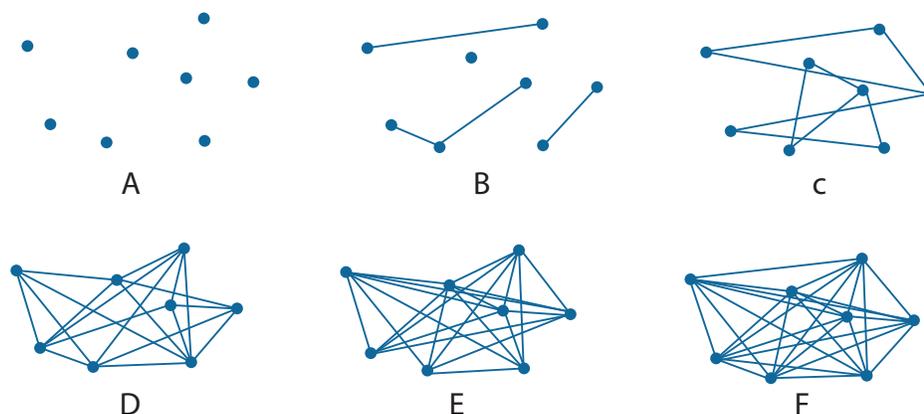
compositivos. Se puede comprender y manejar en el análisis que consiste en dividir, compartimentar, fragmentar, segmentar.

Los sistemas complicados son conjuntos de sistemas simples que se tratan con distribuciones normales, estadística descriptiva e inferencial, promedios, estándares, matrices y vectores (Maldonado, 2016, p. 412). Las ciencias de la complejidad solo se ocupan de los terceros, su fundamento son los espacios imaginarios designados como espacios posibles, son altamente contraintuitivas y no basan sus explicaciones sobre la percepción natural porque esta se revela como altamente insuficiente para entender, explicar y trabajar con los fenómenos, sistemas y comportamientos complejos o que exhiben complejidad.

La complejidad es una heurística o quizás también una metaheurística —en rigor sería un conjunto de ellas—, que se definen a partir de problemas de frontera. En el lenguaje técnico de los complejólogos es habitual encontrar la expresión de acuerdo con la cual la complejidad es un desafío. (Maldonado, 2007, p. 10)

El reto grande consiste en explicar qué hace que un sistema se comporte complejamente y qué se sigue de ello, en especial en los sistemas, fenómenos y comportamientos que tienen una complejidad creciente. Desde esta perspectiva, la estrategia que irrumpe no es el mejoramiento y perfeccionamiento del conocimiento, sino, por el contrario, la innovación y la creatividad. Desde este punto de vista, el progreso en el conocimiento consiste en la incorporación o producción de nuevos y auténticos paradigmas.

Gráfica 1. Esquemas de conexiones posibles entre ocho puntos



Fuente: Murray (1995, p. 47).

Murray (1995) propone el concepto elemental de la complejidad que expresa un todo trenzado. Un sistema complejo se ubica en una franja de condiciones intermedias entre el orden y el desorden. Más allá están los extremos de la escala de lo fundamental, lo microrrepresentado en el *quark* y lo macrorrepresentado metafóricamente en el jaguar.

Un sistema complejo adaptativo: adquiere información acerca tanto de su entorno como de la interacción entre el propio sistema y dicho entorno, identificando regularidades, condensándolas en una especie de *esquema* o modelo y actuando en el mundo real sobre la base de dicho esquema. (p. 35, cursivas propias)

Para este autor la complejidad se puede comprender articulando las diversas ciencias en sus diferentes niveles para que pasen a formar parte de una única estructura conexas, basada en las relaciones entre las partes. Sin embargo, existen múltiples formas de conexión posibles (ver gráfica 1).

De acuerdo a la gráfica 1, cada punto puede representar elementos físicos, químicos, biológicos, animales, personas, comunidades, etc., que se articulan y se combinan de múltiples maneras. Rodríguez y Aguirre (2011) conceptualizan la complejidad como un paradigma científico emergente, con un nuevo modo teórico práctico de entender y hacer la ciencia:

Lo que hoy suele llamarse 'teoría de la complejidad' —en singular—, o en su denominación más pluralista, 'teorías de la complejidad' —en plural—, es en realidad el nombre de un campo con límites borrosos que abarca, en su formulación científica, a las teorías de los sistemas complejos en sentido amplio (sistemas dinámicos, sistemas no lineales, sistemas adaptativos), la teoría del caos y los fractales. (Rodríguez y Aguirre, 2011, p. 3)

Lo cierto es que en la actualidad no existe una teoría unificada de la complejidad. Los autores se apoyan en Weaver, que distingue entre los problemas de simplicidad, los problemas de complejidad desorganizada y, finalmente, los problemas de complejidad organizada.

Bertalanffy (1968) plantea el surgimiento de nuevas realidades complejas en la Modernidad. Frente a los límites de la ciencia tradicional postula la necesidad de estructurar nuevas herramientas del conocimiento ya que

La tecnología y la sociedad modernas se han vuelto tan complejas que los caminos y medios tradicionales no son ya suficientes y se imponen actitudes de naturaleza holista, o de sistemas, y generalista, o interdisciplinaria. Esto es cierto en muchos sentidos. Sistemas en múltiples niveles piden control científico: ecosistemas, cuya perturbación lleva a problemas apremiantes como el de la contaminación; organizaciones formales, como la burocracia, las instituciones educativas o el Ejército; los graves problemas que se presentan en sistemas socioeconómicos, en relaciones internacionales, política y represalias. (p. XIV)

Esto representa un cambio importante en las categorías básicas del pensamiento científico que deben dar cuenta de estas complejidades, no como fenómenos aislados, sino como "totalidades" o "sistemas" en todos los campos del conocimiento. Basado en Warren Weaver, Bertalanffy plantea que, en contraste con la física tradicional, hoy el problema fundamental es el de la complejidad organizada, en donde conceptos como los de organización, totalidad, directividad, teleología y diferenciación emergen para comprender mejor las ciencias biológicas, las del comportamiento y las sociales (Bertalanffy, 1968, p. 34).

Esto también implica superar la especialización y la compartimentación creciente impuesta por la inmensa cantidad de datos, la complejidad de técnicas y de las estructuras teóricas dentro de cada campo de las ciencias.

La instrucción habitual en física, biología, psicología o ciencias sociales las trata como dominios separados, y la tendencia general es hacer ciencias separadas de subdominios cada vez menores, proceso repetido hasta el punto de que cada especialidad se toma un área insignificante, sin nexos con lo demás. En contraste, las exigencias educativas de adiestrar *generalistas científicos* y de exponer *principios básicos* interdisciplinarios son precisamente las que la teoría general de los sistemas aspira a satisfacer. (Bertalanffy, 1968, p. 51, cursivas propias)

Principios y estrategias postuladas por estas teorías

En la concepción epistemológica de Edgar Morin, un paradigma está constituido por una relación lógica entre nociones maestras, nociones clave y principios clave que gobiernan el discurso. La complejidad "es

un cierto número de principios que ayudan al espíritu autónomo a conocer” (Morin, 1999a, p. 89).

Este enfoque se fundamenta en tres principios: el *principio dialógico y tanslógico*, que expresa la unión de nociones antagónicas para concebir los procesos organizadores y creadores en el mundo complejo de la vida, la historia humana y del cosmos; el *principio de la recursividad organizacional*, en el que los productos y los efectos son ellos mismos productores y causantes de lo que los produce, y el *principio hologramático*, que implica que no solo la parte está en el todo, sino que el todo está inscrito en la parte —un holograma es una imagen en la que cada punto contiene la información sobre el objeto representado—. De este modo, por ejemplo, la célula contiene en sí la totalidad de la información genética (Morin, 1999a, pp. 105-107).

Para Morin, la *estrategia* es una decisión con acción y una elección. Toda estrategia tiene conciencia de la apuesta. A partir de una decisión inicial es posible imaginar un cierto número de escenarios para la acción, en la que está la conciencia del riesgo y de la incertidumbre.

La palabra estrategia no designa a un programa predeterminado que baste para aplicar *ne varietur* en el tiempo. La estrategia permite, a partir de una decisión inicial, imaginar un cierto número de *escenarios para la acción*, escenarios que podrán ser modificados según las informaciones que nos lleguen en el curso de la acción y según los elementos aleatorios que sobrevendrán y perturbarán la acción. La estrategia lucha contra el azar y busca la información. (Morin, 1999b, p. 113, cursivas propias)

En este aspecto, el pensamiento morinista se acerca a la prospectiva, que incorpora las estrategias de los actores sociales. De Sousa (2009) formula el principio de creatividad y de responsabilidad individual con una visión basada en la acción. Este fundamento pragmático prioriza los fines en el marco de un grupo social:

hoy, relativizar el concepto de causa parte, sobre todo, del reconocimiento de que el lugar central que había ocupado en la ciencia moderna se explica menos por razones ontológicas o metodológicas que por razones pragmáticas. El concepto de causalidad se adecúa bien a una ciencia que busca intervenir en lo real y que mide su éxito en por el ámbito de esa intervención. Al final, causa es todo sobre lo que se puede actuar [...] el causalismo, en cuanto a categoría de integibilidad

de lo real, ha venido a perder terreno a favor del finalismo. (p. 37)

En este aspecto De Sousa coincide con Warren Weaver y Bertalanffy en asignar un mayor peso a los fines que a las causas. En cuanto al contenido del conocimiento científico, el autor plantea una postura favorable al análisis cualitativo que preserva la riqueza y la diversidad frente al rigor cuantitativo, dado que este último transforma y deforma la personalidad de la naturaleza y de la sociedad, lo que reprime la pregunta sobre el valor científico humano:

La estrategia de la epistemología debe ir más allá de lo posmoderno. Es necesario volver a las cosas simples, a la capacidad de formular preguntas simples [...] Cada método esclarece lo que le conviene y solo una constelación de métodos puede captar el silencio que persiste entre cada lengua que pregunta. Desde este enfoque las ciencias sociales deben rechazar el positivismo y el mecanicismo. (De Sousa, 2009, p. 49).

No debe haber distinción entre ciencias naturales y sociales, y la síntesis de las mismas debe tener su polo catalizador en las ciencias sociales y en los conocimientos, así como los criterios de validez del conocimiento deben otorgar visibilidad y credibilidad a la prácticas cognitivas de los grupos sociales que han sido históricamente victimizados.

Para Murray, en la complejidad, los principios desbordan el campo de una ciencia en particular. Por esta razón propone encontrar elementos articuladores entre varios campos científicos a partir de estos principios: “quienes se dedican a estudiar sistemas complejos adaptativos comienzan ya a encontrar algunos principios generales subyacentes en este tipo de sistemas; la búsqueda de estos principios requiere intensas discusiones y colaboraciones entre especialistas de muchas áreas” (Murray, 1995, p. 15). De aquí se desprende la necesidad de la integración de las diferentes especialidades.

Según este autor, el éxito de las estrategias está asociado a estilos de pensamiento distinguidos por Nietzsche como apolíneos —que dan preferencia a la lógica, a la analítica y a la evidencia— y dionisiacos —inclinados a la intuición, la síntesis y la pasión—, que se correlacionan de forma burda con los hemisferios cerebrales izquierdo y derecho, respectivamente. Adicionalmente, Murray incluye una tercera categoría: los odiseicos, que combinan las dos formas en la búsqueda de conexiones entre las ideas y que encuentran un ambiente propicio en el Instituto de Santa Fe.

Murray privilegia el uso de los ordenadores para desarrollar estrategias en juegos o proporcionar simulaciones simplificadas de sistemas complejos adaptativos naturales. El sistema explora un vasto espacio de métodos o estrategias posibles, pero no alcanza un óptimo absoluto. Tanto las redes neuronales como los algoritmos genéticos constituyen sistemas complejos adaptativos de carácter informático que pueden desarrollar estrategias que nunca han sido diseñadas por un ser humano.

La investigación en las ciencias de la complejidad, tal como se desarrolla en el Instituto de Santa Fe y en cualquier parte del mundo, no solo intenta desentrañar el significado de lo simple y lo complejo, sino también las semejanzas y diferencias entre los sistemas complejos adaptativos (Murray, 1995, p. 35). Esto implica comprender procesos diversos de predicciones y estrategias de la evolución biológica, los ecosistemas, los sistemas inmunitarios, los procesos mentales, la evolución de las sociedades humanas, los mercados financieros, los programas informáticos, etc.

En Prigogine, un principio clave es la interacción de la trilogía flujo, función y *estructura*, que sirve para explicar el paso del orden al desorden y viceversa. Esta transición se observa en todos los sistemas, desde los más elementales hasta los más complejos:

el comportamiento de retroalimentación (*feedback*) es evolutivo: los flujos externos pueden pasar a la estructura interna de un estado a otro, incluso modificar las reacciones activas, y, a su vez, el sistema puede, a continuación, ser sensible a las ligaduras externas a las que antes era ajeno. Este trinomio nos procura un magnífico acceso al puente que une estas problemáticas físicas con las de las ciencias sociales. (Prigogine, 1997, p. 56)

Esta interacción de flujos modifica las funciones y estructuras haciendo que la realidad no sea ni estable ni equilibrada, sino que bulle con el cambio, el desorden, el azar —aunque genera estructuras y ordenamientos no aleatorios—. Así, en todo sistema pueden aparecer estrategias con puntos de bifurcación, de modo que tiene dos posibilidades: una es continuar su proceso de caos progresivo retornando a un estado anterior y otra es provocar, por azar, un acontecimiento que le hará evolucionar hacia un orden creciente y así alcanzar un nuevo estado de equilibrio llamado estructura disipativa. Se tienen dos procesos contradictorios entre sí, de una parte la flecha termodinámica del tiempo avanzando hacia

la entropía y el caos, y de otra, la flecha evolutiva del tiempo avanzando hacia el orden y la organización.

Maldonado (2014) introduce la dimensión del tiempo y considera que

la complejidad de un fenómeno estriba en las correspondencias —o no— entre escalas temporales, ritmos y velocidades diferentes, de cuyos entrelazamientos resulta tanto, de un lado, la comprensión acerca del carácter mismo de un fenómeno dado, como la estructura, la dinámica y las características ontológicas mismas del fenómeno considerado. Es exactamente esta imbricación de tiempos diversos, plurales, lo que define la complejidad de un fenómeno. (p. 81)

Así, los sistemas complejos se caracterizan por la diversidad, pluralidad, alteridad o multiplicidad. Y, complementariamente, el entendimiento específico del tiempo y la idea de que se trata de fenómenos, sistemas y comportamientos de complejidad creciente son los que definen y caracterizan a las ciencias de la complejidad. Con la idea de temporalidad, los sistemas complejos se definen directa y proporcionalmente por los grados de libertad que tienen o que exhiben. A mayores grados de libertad, mayor complejidad, e inversamente, a menores grados de libertad, menor complejidad (Baadi y Politi, 1997, citados por Maldonado, 2014, p. 82). Un fenómeno o sistema se define por los grados de libertad que trata del número de parámetros que pueden variar independientemente entre sí. Así, la complejidad de un fenómeno o sistema radica en los contenidos y modos tanto de la aleatoriedad como de la incertidumbre que tiene o exhibe.

Holland (2012) considera que los *límites* y las *señales* fundamentan, en diversos arreglos jerárquicos intrincados, los sistemas adaptativos complejos (SAC) en la naturaleza, la sociedad, la economía y el Estado:

En los ecosistemas, por ejemplo, los nichos actúan como límites semipermeables, y los olores y los patrones visuales sirven como señales; los Gobiernos tienen jerarquías departamentales con memorandos que actúan como señales; las células biológicas tienen abundantes membranas con proteínas como señales; los mercados tienen intermediarios y especialistas que utilizan órdenes de compra y venta como señales. Y así es con otros casos. (p. VIII)

El autor sostiene que a pesar de la gran cantidad de datos y descripciones sobre diferentes SAC, se sabe muy poco acerca de cómo estos sistemas se comportan.

tan y se dirigen. Las preguntas sobre el manejo de estos sistemas complejos solo se puede lograr con el estudio del origen y la evolución de los mecanismos que generan las jerarquías de las señales y sus límites.

Desde la perspectiva antropocéntrica, Medina y Ortegón (2006) concuerdan en que el estado del conocimiento comprende los conceptos de certidumbre, riesgo, incertidumbre y ambigüedad (*certainty-risk-uncertainty-ambiguity*):

Hay certidumbre si se conocen las variables y las relaciones entre ellas; riesgo, si se conocen las variables, pero solo se pueden estimar las relaciones entre ellas —las probabilidades—; incertidumbre, si se conocen todas las variables, pero algunas no se pueden medir y se desconocen las relaciones entre otras; y ambigüedad, si todavía tienen que identificarse todas las variables pertinentes. (Afuah, 1997, citado por Medina y Ortegón, 2006, p. 212)

Así, el riesgo es aquella situación de la que se tiene información respecto a los eventos posibles y sus probabilidades. La incertidumbre se presenta cuando se pueden determinar los eventos posibles y no es factible asignarles probabilidades. Se distingue la incertidumbre cuantitativa, que implica futuros alternativos posibles conocidos, pero la distribución de sus probabilidades es desconocida. Por otro lado, la incertidumbre cualitativa conlleva posibilidades futuras desconocidas e implica la toma de decisiones sobre apuestas difusas (Matus, 1993, citado por Medina y Ortegón, 2006, p. 217).

La ambigüedad está inmersa en el pensamiento complejo, y las estrategias comportan cuatro manifestaciones principales: de las intenciones, cuando las preferencias, los criterios de escogencia y los objetivos de las decisiones no son predefinidas y exógenas respecto al proceso decisional; de la comprensión, cuando las conexiones entre las acciones organizativas y sus consecuencias son poco claras; de la historia, cuando los procesos de aprendizaje son obstaculizados por la escasa interpretabilidad del pasado, y de la organización, cuando las personas que están comprometidas en la decisión y su grado de atención a los problemas varían en modo causal (Medina y Ortegón, 2006, p. 217).

A partir de los conceptos y principios expuestos, el concepto de complejidad se refiere a una propiedad cualitativa de los fenómenos que correlaciona una combinación de multiplicidad y de autonomía con la

irreductibilidad a cada explicación analítica que se exhiba (Di Michelis, 1999, citado por Medina y Ortegón, 2006, p. 219).

Caracterización de las teorías de la complejidad

Según Morin, la complejidad no conduce a la eliminación de la simplicidad, sino que la complementa. De igual forma, no se debe confundir la complejidad con la totalidad. Es con Ashby (1948), uno de los fundadores de la cibernética, que la teoría de la complejidad se caracteriza como una ciencia. La cibernética estudia los elementos comunes de comunicación y de regulación automática del sistema nervioso central de los seres vivos y los aplica a las máquinas automáticas. Posteriormente, H. Von Foerster (1979) desarrolló la cibernética de segundo orden, que estudia al observador y su lenguaje como parte del sistema mismo, al igual que la sociedad, en la cual, si alguien hace algo, determina un propósito para quien no lo hace. Y es con Von Newman (1996) que, por primera vez, el carácter fundamental del concepto de complejidad aparece enlazado con los fenómenos de autoorganización. Así, esta disciplina no solamente examina la estructura ontológica de la realidad, sino también la epistemología. Así vuelve sobre sí misma con el conocimiento de la realidad, sus límites y sus posibilidades.

En la teoría de la complejidad morinista hay una trinidad, tres conceptos unidos pero diferenciados, a saber: las *interrelaciones*, la *organización* y el *sistema*.

Aunque inseparables, estos tres términos son relativamente distinguibles. La idea de *interrelación* remite a los tipos y formas de unión entre los elementos o individuos, entre estos elementos / individuos y el Todo. La idea de "sistema" remite a la unidad compleja del todo interrelacionado, a sus caracteres y propiedades fenoménicas. La idea de *organización* remite a la disposición de las partes dentro, en y por un Todo. (Morin, 1993, p. 126, cursivas propias)

Por ejemplo, hay una variedad de átomos que se organizan con tres tipos de partículas. La diversidad de las especies depende de las variaciones de cuatro elementos del código ADN. En economía, el sistema capitalista presenta diversas formas de organización —intervencionista, librecambista, mixta, etc.—. En opinión de este autor, con los sistemas abiertos se constituyó un acuerdo entre la termodinámica y la ciencia de lo viviente y se desarrolló una idea nueva con la relación

equilibrio / desequilibrio. Nuestras sociedades conocen, sin cesar, crisis políticas, económicas y sociales:

Y toda crisis es un incremento de las incertidumbres. La predictibilidad disminuye. Los desórdenes se vuelven amenazadores. Los antagonismos inhiben a las complementariedades, los conflictos virtuales se actualizan. Las regulaciones fallan o se desarticulan. Es necesario abandonar los programas, hay que inventar estrategias para salir de la crisis. Es necesario, a menudo, abandonar las soluciones que solucionaban las viejas crisis y elaborar soluciones novedosas. (Morin, 1999b, p. 117)

Para De Sousa (2009), la teoría de la complejidad se caracteriza por ser un movimiento convergente que atraviesa varias ciencias de la naturaleza y sociales:

Que Jantsch designa como paradigma de autoorganización: sinérgica de Haken, Hiperciclo vida en Eigen, autopoiesis de Maturana y Varela, Catastrofes de Thom, evolución de Jantsch, en la teoría del orden implicado de Bohm, en la matriz S de Geoffrey y en la filosofía del *bootstrap*. Todo esto ha suscitado una profunda reflexión epistemológica sobre el conocimiento científico. (p. 35)

El autor presenta dos facetas sociológicas en las que los propios científicos con interés filosófico reflexionan y exploran el conocimiento del conocimiento de las cosas. En las décadas del treinta y el cuarenta, la ciencia se ocupó en transformar accidentes en ocurrencias sistemáticas. Sin embargo, crecieron unos conflictos fuertes, ya que la industrialización de las ciencias llevó a un compromiso con los centros de poder económico, social y político, los cuales pasaron a tener un papel decisivo en la definición de las prioridades científicas.

Lo anterior "produjo dos efectos principales: la comunidad científica se estratificó, las relaciones de poder entre científicos se tornaron más autoritarias y desiguales, y la mayoría de los científicos fueron sometidos a un proceso de proletarianización" (De Sousa, 2009, p. 39). Sin embargo, este orden científico presenta señales de crisis profunda e irreversible de esa hegemonía teórica y sociológica y aparece el perfil del nuevo orden científico emergente en un periodo de revolución científica con el surgimiento de nuevos paradigmas.

Para Holland (2012), del Instituto Santa Fe, los sistemas adaptativos complejos (SAC) se caracterizan por

tener cuatro propiedades básicas —agregación, no linealidad, flujos y diversidad— y tres mecanismos comunes —etiquetas, modelos internos y construcción de bloques—.

La agregación de componentes produce propiedades emergentes, que hacen que el ámbito macro se diferencie y se comporte de manera diferente de sus partes en el ámbito micro. La no linealidad hace referencia a comportamientos que no se pueden expresar como la suma de los comportamientos de las partes, por lo tanto, no está sujeta al principio de superposición. Los flujos definen el cambio de sitios de los componentes de un sistema, por ejemplo, una persona cambia de átomos más o menos cada dos años. La diversidad considera que no hay un elemento superior a los demás, dado que hay una mutua dependencia entre todos los elementos. Por ejemplo, el hombre depende de toda la cadena alimentaria para vivir (Holland, 2012, p. 229).

En cuanto a los mecanismos, las etiquetas son los elementos que ayudan a identificar lo propio de lo extraño para detectar los elementos dañinos, por ejemplo, el sistema inmunológico. Los modelos contienen un indicador interno instalado que les permite encontrar maneras de anticipar lo que va a ocurrir en el ambiente. Los bloques de construcción son piezas de reglas que forman cadenas. Las reglas más fuertes son seleccionadas y son los padres en la producción del algoritmo de una nueva generación de reglas, por ejemplo, los genes que componen el cromosoma de un organismo. Los bloques de reglas son utilizados en nuevos contextos y pueden permitirles a las reglas que elaboren pruebas y hagan lo inesperado. El proceso principal de la evolución es encontrar bloques de ese tipo para construir mejores sistemas adaptativos:

Una característica básica de los sistemas complejos adaptativos es que no hay ningún individuo que sea el mejor, lo que hay son muchos individuos que se ocupan de distintas tareas. Otra cosa que es muy típica de este tipo de sistemas es que nunca se estabilizan; nunca llegan al equilibrio, están continuamente produciendo nuevos elementos, nuevas especies, nuevos mecanismos de comercio, están siempre en movimiento. De hecho, normalmente, cuando un sistema complejo adaptativo se estabiliza y llega al equilibrio, se muere. (Holland, 2012, p. 229)

Según Maldonado, la racionalidad moderna se caracteriza por abordar siempre primero los problemas

fáciles y postergar y desplazar los problemas difíciles a lugares secundarios. Este autor se aparta de Murray, quien enfatiza en las predicciones y la estrategia, y sostiene por el contrario que:

No es suficiente con afirmar que las ciencias de la complejidad no buscan predecir los fenómenos caracterizados por no-linealidad, emergencias, auto organización, dado el hecho de que la predicción no es el objetivo primero de la investigación, sino, a lo sumo, un valor agregado [...] De una manera más radical, el objetivo principal de las ciencias de la complejidad consiste en vivir en armonía con el mundo y la naturaleza. (Maldonado, 2009, p. 15)

Para este autor, las "ciencias de la complejidad" están integradas por la ciencia de la termodinámica del no equilibrio del Nobel de química I. Prigogine, la ciencia del caos desarrollada por E. Lorenz y D. Ruelle, la ciencia de las catástrofes de R. Thom, la ciencia de la geometría fractal de B. Mandelbrot, la ciencia de las nuevas lógicas (paraconsistente, del tiempo, de la relevancia, polivalente, difusa y cuántica) y la ciencia de las redes. Según lo expuesto,

la complejidad es el resultado de la ruptura de simetrías, la existencia de un atractor extraño, un fenómeno de auto similitud, debido a una catástrofe determinada (umbilical, mariposa u otra), por sinergias y relaciones, por la sensibilidad a las condiciones iniciales, por la existencia de redes booleanas, por factores probabilísticos o estocásticos, porque el fenómeno es abierto y se encuentra en un entorno variable, gracias a una ley de potencia que hace que se convierta o se comporte como un sistema de criticalidad autoorganizada. (Maldonado, 2007, p. 16)

Así, la complejidad es la interacción entre componentes variados de un sistema lejos del equilibrio, al filo del caos. Murray, por su parte, sostiene que, aunque las diferentes ciencias residen efectivamente en diferentes niveles, forman parte de una única estructura conexa. La caracterización que presenta es la siguiente:

La unicidad de esta estructura está basada en las relaciones entre las partes. Una ciencia perteneciente a un nivel determinado abarca las leyes de otra ciencia menos fundamental, situada en un nivel superior. Pero esta última, al ser especial, precisa de información adicional además de las leyes del nivel inferior. En cada nivel hay leyes

por descubrir, importantes por sí mismas. (Murray, 1995, p. 130)

El desarrollo de la ciencia implica investigar esas leyes en todos los niveles, a la vez que se trabaja de forma vertical en la construcción de escaleras entre ellos. El autor aborda la complejidad de forma inductiva mediante computadores para resolver un problema determinado: la longitud de la descripción de los problemas se define con la "complejidad algorítmica", el "contenido de información algorítmica" y la "incertidumbre algorítmica".

Medina y Ortegón (2006), al examinar algunas relaciones en el espacio cruzado de la complejidad y la indeterminación, definen cuatro niveles. El primero es de orden mecánico: las mismas causas producen los mismos efectos y es viable cierto nivel de predicción. El segundo nivel, denominado probabilístico, establece probabilidades de ocurrencia de eventos de acuerdo con los actores, las variables y las interrelaciones que se manejan. El tercero es el termodinámico, este conlleva opciones múltiples de ocurrencia de un fenómeno determinado donde es difícil conocer todos los actores, las variables y las interrelaciones; así, se plantean futuros posibles en lugar de futuros probables. El cuarto nivel, de mayor indeterminación y complejidad, comporta una máxima entropía, pues los cambios surgen acelerada e improvisadamente, en diferentes ritmos e intensidades y con las sorpresas y las discontinuidades que provocan mutaciones del sistema.

Prigogine (1997) caracteriza la complejidad en un doble sentido, al plantear que la entropía apunta en una dirección y la evolución en otra vía contraria. También observa que en cualquier sistema complejo las partes del sistema siempre están experimentando cambios en pequeña escala y en el interior se halla influenciado por fluctuaciones. Estas fluctuaciones producen un abandono del régimen lineal, se amplifican y hacen emerger un nuevo orden:

Las estructuras disipativas son fluctuaciones gigantes mantenidas por flujos de energía y materia. Surgen en condiciones alejadas del equilibrio y en sistemas abiertos. Más allá del umbral de la inestabilidad la norma es la autoorganización. El sistema tiene un haz de varias trayectorias. La mezcla de azar y necesidad constituye la historia del sistema. (Prigogine, 1997, p. 53)

Esta nueva estructura disipativa puede ser más diferenciada, internamente interactiva y compleja que la antigua y, en la economía del universo, necesita

más gasto de energía, materia y, quizás, información y otros recursos para sostenerse.

Para Rodríguez y Aguirre (2011) la complejidad constituye una perspectiva novedosa en la ciencia contemporánea que implica un quiebre o discontinuidad en la historia de la ciencia, con cuestiones relativas al desorden, al caos, a la no-linealidad, al no-equilibrio, a la indecibilidad, a la incertidumbre, a la contradicción, al azar, a la temporalidad, a la emergencia y a la autoorganización. Sin embargo, estos nuevos principios no ha ganado un espacio amplio en la ciencia y se mantienen en un lugar marginal:

La complejidad puede entenderse, por lo tanto, como un paradigma científico emergente que involucra un nuevo modo de hacer y entender la ciencia. Las teorías y métodos asociados a 'la complejidad' no constituyen el *mainstream* (tendencia o moda dominante) en los campos científicos o disciplinares en los que se desarrollan. Esta situación de marginalidad es menor en el campo de las ciencias de la materia y de las ciencias de vida. (Rodríguez y Aguirre, 2011, p. 2)

Desde la perspectiva organizativa hay varios enfoques. La complejidad organizada se caracteriza por el manejo de pocas variables, mientras que la complejidad no organizada es un conjunto de teorías provenientes de diversas fuentes:

La complejidad organizada ha sido abordada desde disciplinas distintas, dando lugar a diversas teorías, entre las que destaca: la cibernética (Wiener, 1985), la cibernética de segundo orden (Foerster, 1996), la epistemología genética (Piaget, 1978), la teoría de la auto-organización (Ashby, 1962), la teoría general de los sistemas (Bertalanffy, 1968), la geometría fractal (Mandelbrot, 1987), la teoría de los autómatas celulares (Neumann, 1966, 1968), la termodinámica de los procesos irreversibles (Prigogine y Nicolis, 1987), la teoría de la autopoiesis (Maturana y Varela, 1972), la teoría de las catástrofes (Thom, 1976), entre otras. (Rodríguez y Aguirre, 2011, p. 5).

La noción de complejidad organizada, como totalidad compuesta por elementos heterogéneos articulados entre sí de manera orgánica, remite a la noción de sistema. Así, el modo de abordaje sistémico que reclaman los problemas de complejidad organizada plantea la necesidad de articulación entre tres conceptos fundamentales: complejidad, organización y sistema.

Según Hilbert (2014), existen problemas de simplicidad, problemas de complejidad organizada —que se tratan con herramientas estadísticas— y problemas de la complejidad desorganizada. Estos últimos corresponden a los *sistemas complejos sociales*, que tienen seis características: están conectados a través de redes de diversas clases (amistad, innovación, transporte, migración, negocios, gobernanza, comités que manejan un país, etc.); la clase de estructura de cada una de las redes define la velocidad en que se propaga la información, por ejemplo, en Twitter o Facebook; los sistemas son interdependientes, con diversas variables y diferentes óptimos interactuando y con estrategias discretas o continuas activadas por los agentes externos; son diversos y siguen la ley de la cibernética (Ashby, 1948) en la que solo la variedad absorbe la variedad y así el sistema debe contar con un número mínimo de estados necesarios para funcionar bien y adaptarse al entorno.

Otra característica de los sistemas complejos sociales es que son adaptativos y están procesando información de manera continua, cambian y aprenden de la experiencia; por ejemplo, en la termodinámica, la aerodinámica, la hidrodinámica y la electricidad. Son dependientes del camino porque están subordinados a la historia de los cambios evolutivos aleatorios acaecidos, accidentes congelados que han desempeñado papeles capitales en el futuro subsiguiente de los diferentes sistemas (Murray, 1995, p. 132). Además, son emergentes porque generan nuevos procesos de autoorganización en donde las diferencias cuantitativas dan lugar a diferencias cualitativas, por ejemplo, el agua cambia a dos estados diferentes, a cero grados Celsius se congela y a cien grados Celsius se evapora. En el ámbito social los comportamientos individuales de las personas, en diversos niveles, generan comportamientos sociales diferentes.

La relación entre la complejidad y la organización tiene dos modos de abordaje distintos, la complejidad restringida y la general.

Por un lado, la complejidad restringida, conformada por las llamadas ciencias de la complejidad o ciencias de los sistemas complejos, consiste en una perspectiva que se ha desarrollado notablemente en el mundo anglosajón. Por otro lado, la complejidad general, cristalizada en la propuesta del "pensamiento complejo", se ha desarrollado principalmente en el mundo franco-latino. Este enfoque puede ser definido como una epistemología transdisciplinaria (Morin, 1977, 1980, 1986),

una filosofía ético-política de la complejidad. (Morin, 2004, p. 6, cursivas propias)

Esta distinción no es solo metodológica, sino también epistemológica y política. Las ciencias de la complejidad son cuestionadas por Rodríguez y Aguirre debido a que excluyen la dimensión ético-política del conocimiento científico y de las prácticas científicas, así como el papel de un sujeto neutral en la formulación metodológica y científica. De otra parte, el pensamiento complejo es cuestionado porque no provee herramientas procedimentales para la investigación empírica. Sin embargo, este plantea:

una articulación del pensamiento científico con otras formas de conocimiento no científico, la filosofía y los saberes humanísticos: la literatura, el cine, la poesía, el arte. En el terreno científico, la vocación religadora del pensamiento complejo busca establecer los puentes comunicantes entre las ciencias físicas, las ciencias de la vida y las ciencias antro-po-sociales; una búsqueda de tipo transdisciplinaria que permitiría conducir a una nueva organización de los saberes por medio de la reelaboración de los principios rectores del pensamiento. (Morin, 2004, p. 11)

Este planteamiento abarca una dimensión más amplia que plantea una propuesta para el desarrollo de una política planetaria de la civilización y el medio ambiente. En esta controversia Maldonado (2009) formula la tesis de que la complejidad es un problema y no una cosmovisión:

En realidad, el carácter de esta tesis no tiene dificultad en el medio de quienes trabajan seriamente y a profundidad en los temas de las ciencias de la complejidad. Sin embargo, el tema no es evidente de parte de tres grupos distintos, a saber: el de quienes trabajan el pensamiento complejo y no precisamente las ciencias de la complejidad, el de la comunidad de sistémicos, y, finalmente, el de quienes no conocen a profundidad de qué se trata cuando se habla de ciencias de la complejidad y solo tienen una noción externa o general del tema. (Maldonado, 2009, p. 3)

Para este autor existen tres grandes comprensiones acerca de la complejidad entre las que hay varios vasos comunicantes de diverso orden y rango. La primera es la complejidad como método, que hace referencia de la obra de Edgar Morin en términos del *pensamiento complejo* como un método de aproximación al mundo, a los fenómenos. La segunda es

la complejidad como *cosmovisión*, con autores del enfoque sistémico como F. Capra, Von Bertalanffy, Von Foester, H. Maturana, G. Bateson y la escuela de Paloalto, en California, que ve relaciones, dinámicas y sinergias entre todas las piezas del rompecabezas que cuadran en un todo coherente según el punto de vista del observador. La tercera es la complejidad como ciencia, que incluye los trabajos del Instituto Santa Fe en Nuevo México (Estados Unidos), de I. Prigogine, de la Universidad Libre de Bruselas (ULB) en Bélgica y de varios otros centros e institutos de investigación en el mundo, así como la obra de I. Wallerstein (Maldonado, 2009, p. 4).

Una diferencia fundamental entre la teoría general de sistemas y las ciencias de la complejidad estriba en que en la primera existen sistemas cerrados y abiertos, mientras que en la segunda todos los sistemas son abiertos. Maldonado señala 33 obstáculos del pensamiento sistémico, que agrupa en cuatro categorías: no existe una teoría de sistemas; contienen conceptos, herramientas y aproximaciones circulares; predomina la jerga sobre el trabajo científico, y no hay un relevo generacional de investigadores (Maldonado, 2011, p. 8). En cuanto al pensamiento complejo, el autor plantea el siguiente criterio de demarcación:

El rasgo diferenciador más claro entre las ciencias de la complejidad y el pensamiento complejo es precisamente este, a saber: en el caso de Morin se trata de intuiciones, ideas, espíritu y propósitos que, ciertamente, no son rechazables sin más. En el caso de las ciencias de la complejidad se trata de argumentos, demostraciones, lógica(s), rigor, experimentos, modelaciones y simulaciones que han enriquecido de manera fundamental la comprensión del mundo y del universo, y que constituyen, a todas luces, una auténtica revolución en el conocimiento. (Maldonado, 2011, p. 43)

Así, el pensamiento complejo, es una epistemología que pretende cambiar la actitud del ser humano ante el mundo, en tanto que las ciencias de la complejidad plantean transformarlo. Adicionalmente, Maldonado (2011) plantea que en el ámbito de la lógica del pensamiento complejo se hace necesario distinguir dos clases de inferencias, a saber, las *transductivas* de las *inductivas*.

Las inferencias transductivas incluyen a las inferencias por igualdad, por simetría, por homología, por desigualdad, por vinculación, por referencia y por analogía. Las inferencias inductivas comprenden la inferencia por enumeración completa, por coligación, por

inducción matemática, por recurrencia, por reconstrucción, por inducción amplificadora, por muestreo, por estadística, por concordancia, por diferencia, por concordancia y diferencia, por residuo y por variaciones concomitantes (p. 42).

Rodríguez y Aguirre (2011) sintetizan los dos enfoques así:

Mirado con ojos críticos, el pensamiento complejo presenta una hipertrofia filosófica, es como un cuerpo con una gran cabeza pero con manos pequeñas: puede pensar y decir mucho, pero hacer poco. Las ciencias de la complejidad presentan una hipertrofia práctica, son como un cuerpo con una cabeza diminuta pero con brazos y manos ágiles y fuertes: pueden hacer mucho, pero pensar poco. Hay una complementariedad necesaria entre pensamiento y ciencias de la complejidad. (Rodríguez y Aguirre, 2011, p. 11)

Estos autores se inclinan por una ciencia que aborde los problemas humanos con base en criterios ético-políticos vinculados a las necesidades de los pueblos y conscientes del papel real de las estructuras político-económicas de la sociedad. Sobre este aspecto social y político Bertalanffy (1968) manifiesta su preocupación por el hambre, la guerra y la destrucción de la vida y la cultura:

Tal es el resultado de que conozcamos y domineemos demasiado bien las fuerzas físicas, las biológicas medianamente, y las sociales en absoluto. Si dispusiéramos de una ciencia de la sociedad humana bien desarrollada y de la correspondiente tecnología, habría modo de escapar del caos y de la destrucción que amenaza a nuestro mundo actual [...] Tenemos bastante idea de cómo sería un mundo científicamente controlado. En el mejor de los casos, sería como el *Mundo feliz* de Huxley; en el peor, como el de 1984 de Orwell. Ficción utópica y ficción distópica. (p. 52)

Después de este breve recorrido por las principales corrientes que examinan la complejidad, a continuación se analizan algunos de los elementos más importantes y su relación con el objeto de la investigación.

Postura personal frente a las teorías de la complejidad

En esta sección se presenta la postura personal del autor respecto a la complejidad. De este modo, se aborda el interrogante de si esta es una ciencia, un

paradigma, una teoría o un tipo de pensamiento subyacente a la construcción del conocimiento. Se propone una definición propia y una caracterización de la complejidad, así como se plantean los principios que se deben observar en el objeto de conocimiento o en los temas a considerar para investigar.

La complejidad ha existido desde antes de que el ser humano apareciera sobre la tierra. En la medida en que la humanidad ha evolucionado, ha tratado de comprender esa complejidad mediante diversos dispositivos del conocimiento: las nociones, las proposiciones, los conceptos, los mitos, las religiones, los métodos, las categorías, las teorías, los modelos, los sistemas, los paradigmas y las ciencias.

El análisis del estado del arte sobre el tema revela que la complejidad se define y caracteriza de diversas formas dependiendo de las múltiples maneras como se articulan las diversas herramientas y operaciones del conocimiento. El conocimiento humano trabaja con un conjunto binario: los *instrumentos* y las *operaciones intelectuales*. "La inteligencia opera con instrumentos como las nociones, las proposiciones, los conceptos, las pre categorías y las categorías, a la par que los procesos cognitivos efectivos, como proyectar, nominar, supraordinar, isoordinar, inducir, argumentar, etc." (De Zubiría, 1998, p. 79). Los instrumentos de conocimiento no solo interpretan el mundo (la sociedad, los otros, nosotros mismos y los hechos naturales y artificiales), también interpretan y producen el lenguaje. Los instrumentos del conocimiento tienden un puente entre la mente de las personas y su realidad, así como entre su mente y los lenguajes.

La tarea que cumplen las *operaciones intelectuales* consiste en poner a funcionar los instrumentos del conocimiento. Ante la necesidad de percibir la complejidad, se aprenden las *operaciones nocionales* para proyectar la imagen del objeto, introyectar el objeto en una imagen, comprender las imágenes y nominar las imágenes en frases. Con el transcurso del tiempo se aprenden las *operaciones proposicionales* para construir oraciones declarativas o enunciativas, codificar textos y decodificar los mismos en sus componentes.

En un nivel intermedio se asimilan las operaciones conceptuales de supraordinar, infraordenar, isoordenar y excluir. En un nivel de comprensión avanzado se llega al dominio de las operaciones formales para inducir, deducir y translucir. Ya en un nivel superior de complejidad cognoscitiva se dominan las

operaciones *precategoriales* para argumentar, derivar, definir y subargumentar (De Zubiría, 1998, p. 85).

Los elementos cognitivos expuestos plantean el gran reto de comprender la complejidad a partir de las múltiples combinaciones que se derivan de la articulación de diversas herramientas del conocimiento con una variedad de operaciones del conocimiento, lo que ha dado lugar a gran cantidad de interpretaciones de este objeto de estudio.

Instrumental gnoseológico de las teorías de la complejidad

Desde diversas ciencias emergieron nuevas nociones que se han convertido en principios básicos de la ontología, la epistemología y los métodos de la comprensión de la complejidad. Desde la física, el segundo principio de la termodinámica (Carnot, Clausius, 1865); desde las matemáticas, los principios de geometría no euclidiana (Lobatchesky Bolyai, 1830; Riemann, 1854); el principio de inestabilidad (Poincaré, 1892); el principio de la incertidumbre (Heisenberg, 1925); el principio de la indecibilidad (Gödel, 1931); el principio de homeóstasis (Cannon, 1929); el principio de retroalimentación de la cibernética (Ashby, 1948); la holografía (Gabor, 1963) y el concepto de autoorganización (Von Newman, 1996).

Estos nuevos principios han corroído varios fundamentos de las ciencias clásicas de la Modernidad, tales como el mecanicismo, el determinismo, el racionalismo y la compartimentación, dando lugar a nuevas formas de interpretación del mundo. Los nuevos principios también se han constituido como los elementos que han fertilizado novedosos campos del conocimiento como la teoría general de sistemas, el pensamiento complejo, la teoría de los sistemas complejos y el caos. Algunas proposiciones comunes de las tendencias teóricas emergentes son las siguientes:

La relación sujeto / objeto está mediada por la estructura mental del sujeto.

La asunción de procesos desde la totalidad y la interacción con las partes.

La comprensión de relaciones clave entre los elementos de una estructura.

El reconocimiento del desorden, la incertidumbre y el azar.

La interacción de energía, información y materia entre sistemas.

Los procesos dinámicos alternan orden y desorden.

Es posible aplicar los mismos principios en diversidad de ciencias.

Se debe abordar la investigación con equipos transdisciplinarios.

Todo lo anterior representa una ruptura epistemológica frente al racionalismo, el determinismo, el reduccionismo, el mecanicismo y el positivismo.

Con base en los anteriores principios y proposiciones han emergido una variedad de conceptos que permiten tender puentes entre las ciencias físicas, biológicas y sociales y comprender mejor diferentes fenómenos contemporáneos aparentemente aislados. De esta manera, se encuentran analogías y similitudes entre procesos físicos, biológicos, económicos, sociales e interacciones entre los mismos.

Disrupciones emergentes de las teorías de la complejidad

Entre los conceptos novedosos están los mencionados anteriormente con Boaventura De Sousa: el orden implicado de Bohm, la matriz S de Geoffrey y la filosofía del *bootstrap*, la autopoiesis de Maturana y Varela, las catástrofes de Thom, el hiperciclo de vida en Eigen, evolución de la auto-organización de Jantsch, la Sinérgica de Haken, De Sousa adiciona el principio de creatividad y de responsabilidad individual con una visión basada en la acción (De Sousa, 2009, p. 35).

Rodríguez y Aguirre consideran como un quiebre o discontinuidad en la historia de la ciencia a los conceptos de caos, desorden, no-linealidad, no-equilibrio, indecibilidad, incertidumbre, contradicción, azar, temporalidad, emergencia y autoorganización. Murray (1995) incorpora a la complejidad algorítmica el contenido de información algorítmica y la incertidumbre algorítmica. Por su parte, Bertalanffy (1968) destaca los conceptos de organización, totalidad, directividad, orden jerárquico, teleología, diferenciación, diferenciación progresiva y la retroalimentación. Maldonado integra en los conceptos de complejidad la termodinámica del no equilibrio de Prigogine, el caos desarrollado por E. Lorenz y D. Ruelle, las catástrofes de R. Thom, la geometría fractal de B. Mandelbrot, el concepto de las redes y las nuevas lógicas (paraconsis-

tente, del tiempo, de la relevancia, polivalente, difusa y cuántica) (Maldonado, 2009, p. 5).

En la transición al siglo XXI surgieron nuevos conceptos y aplicaciones específicas: la sinérgica de Haken, los modelos de adaptación de Farmer, la dinámica compleja de Bar-Yam, la economía compleja de Brian, las redes libres de Barabás, la red social global de Castell, las redes visuales de Borner, las redes complejas de Bocallèttia, la coevolución cultural de Bowles, la bio-computación de Castillo, el tránsito complejo de Urry, las ciudades complejas de Reynoso, el género en la globalización de Walby, los bloques de complejidad de Holland, la geografía y la complejidad de O'Sullivan, la complejidad visual de Lima, entre otros (ver anexo 1) (Castellani, 2009).

Cada uno de los anteriores conceptos tiene la característica de ser lo que Stephen Wolfram (citado por Murray, 1995, p. 94) denomina un "paquete comprimido de información, aplicable a muchos casos particulares". Son una especie de ADN cognitivo multipropósito. El estudio y aplicación sistemáticos de estas nociones, proposiciones y conceptos ha dado lugar a la priorización de categorías claves para la comprensión de la realidad compleja. Así, en la teoría de la complejidad morinista se plantea una trinidad de categorías unidas pero diferenciadas, las *interrelaciones*, la *organización* y el *sistema*, que remiten a diversos tipos y formas de articulación del todo y las partes.

Prigogine prioriza y articula las categorías del trinomio *flujo*, *función* y *estructura*, que sirven para explicar el paso del orden al desorden y viceversa, el cual se observa en todos los sistemas, desde los más elementales hasta los más complejos. Bertalanffy considera las categorías de *estructura* (orden de partes) y *función* (orden de procesos), niveles de organización y orden jerárquico, que son un pilar de la teoría general de los sistemas. Este último autor aplica dichas categorías en la ciencia física, biológica y social en los siguientes términos:

Podemos, hallar construcciones y tal vez leyes en los distintos niveles. Como dijo una vez Aldous Huxley, el mundo es un pastel de helado napolitano cuyos niveles —el físico, el biológico, el social y el moral— corresponden a las capas de chocolate, fresa y vainilla. La fresa no es reducible al chocolate, lo más que podemos decir es que quizás en última instancia todo sea vainilla, todo mente o espíritu. El principio unificador es que encontramos organización en todos los niveles. (Bertalanffy, 1968, p. 49).

La realidad, así concebida, se presenta como un orden jerárquico de entidades organizadas en superposición de numerosos niveles, de los sistemas físicos y químicos a los biológicos y sociológicos.

A partir de los elementos expuestos, en este documento se formula una posición con la hipótesis de que en la comprensión y en la acción sobre la complejidad en la era contemporánea han surgido, desde varias ciencias, diversos principios, conceptos y categorías que han contribuido al desarrollo de nuevas teorías en transición hacia la conformación de paradigmas de la complejidad sistémica.

Se está en presencia de teorías de los sistemas complejos. Se entiende la teoría como un principio o conjunto de principios nociones, proposiciones, conceptos y categorías elementales y fundantes. Así, estas teorías heurísticas permiten articular diversos elementos de las ciencias para la comprensión y actuación sobre la realidad compleja.

En las primeras décadas del siglo XXI se destacan tres grandes conjuntos de teorías en transición a paradigmas, a saber: la teoría de la complejidad, la teoría de sistemas y la teoría de sistemas complejos. Un elemento de diferenciación entre ellas lo aportan el enfoque apolíneo que da preferencia a la lógica, la analítica y la razón; el enfoque dionisiaco, que prioriza la experimentación y el placer de los sentidos y el enfoque denominado por Murray como odiseico, que combina la razón, los sentidos y las emociones en la investigación.

La teoría de la complejidad de la escuela morinista tiene un alto componente apolíneo plasmado principalmente en la obra *El Método*. Sin embargo, esto no obsta para encontrar elementos de aplicación concreta, por ejemplo, la investigación participativa en la población de Plozévet, y la propuesta a la Unesco en *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro* (Morin, 1999). En este sentido se emprende el camino de la odisea.

La teoría general de sistemas tiene un componente dionisiaco que se caracteriza por impulsar el desarrollo tecnológico con Von Bertalanffy, F. Capra, von Foester, H. Maturana, G. Bateson y la escuela de Palo Alto en California. La teoría de sistemas complejos, con enfoque odiseico, impulsa la investigación sin fronteras y procura la convergencia de conocimientos con I. Prigogine, de la Universidad Libre de Bruselas (ulb) en Bélgica, el Instituto Santa Fe en Nuevo México (Estados Unidos), I. Wallerstein con el sistema-mundo

y otros centros e institutos de investigación del caos y la complejidad.

Desde una perspectiva semiótica, la teoría de la complejidad opera principalmente con signos lingüísticos; la teoría de sistemas, con énfasis en signos matemáticos; y la teoría de sistemas complejos da mayor relevancia a los signos icónicos. Estas teorías forman parte de programas de investigación que están evolucionando en un proceso de metamorfosis hacia la conformación de paradigmas, entendidos estos como “la constelación de creencias, valores, técnicas que comparten los miembros de una comunidad dada [...] y los elementos de tal constelación con las concretas soluciones de problemas” (Kuhn, 1971, p. 269).

Para que estos paradigmas en gestación se conviertan en ciencia se requiere de un conjunto de conocimientos adquiridos rigurosamente mediante el razonamiento y la observación sistemáticamente estructurados, de los que se deduzcan principios y postulados generales con capacidad explicativa, predictiva y comprobables experimentalmente, y que sean aceptados en la sociedad de forma masiva (ver anexo 2).

Sin embargo, se coincide con Bertalanffy en que la unidad de la ciencia no se asegura por una reducción utópica de todas las ciencias a una sola, sino por las relaciones y uniformidades estructurales entre los diferentes niveles de la realidad. Dada la influencia marginal de las teorías sobre la complejidad en el ámbito científico predominante, se requerirán crecientes aproximaciones, diálogos y articulaciones entre los principios, medios y fines de los paradigmas en germinación.

Esto supone acercamientos y articulaciones de las anteriores tendencias cognitivas —en los dominios filosóficos-metafísicos de la ontología y la epistemología, en los dominios de las metodologías y las técnicas y en los dominios propositivos para las alternativas— con las políticas públicas en el marco de la gobernanza que den respuestas efectivas a los problemas concretos que agobian al mundo en la era contemporánea.

Referencias bibliográficas

Ashby, W.R. (1948). The homeostat. *Electron*, 20, 380.

Bertalanffy, L. V. (1968). *Teoría general los sistemas*. México: Fondo de Cultura económica.

De Sousa Santos, B. (2009). *Epistemología del Sur*. México: Siglo XXI, Clacso.

De Zubiria Samper, M. (1998). *Pedagogías del siglo XXI. Mentefactos*. Bogotá. Fundación Merani.

Cannon, W. B. (1929). Organization For Physiological Homeostasis. *Physiol Rev.*, 9, 399-431.

Castellani, B. (2009). *Map of the Complexity Sciences*. Recuperado de: http://www.art-sciencefactory.com/complexity-map_feb09.html.

Clausius, R. (1865). *The Mechanical Theory of Heat – with its Applications to the Steam Engine and to Physical Properties of Bodies*. London: John Van Voorst, 1.

Gabor, D. (1964). *La invención del futuro*. Madrid: Editoriales y Publicaciones.

Gödel, K. (1931). Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme, I. *Monatshefte für Mathematik und Physik*, 38, 173-198.

Heisenberg, W. (1925). Quantum-theoretical re-interpretation of kinematic and mechanical relations. *Z. Phys*, (33), 879-893.

Hilbert, M. (2014). How much of the global information and communication explosion is driven by more, and how much by better technology?. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 4(65), 856-861. Doi: <http://doi.org/f53ndv>.

Holland, J.H. (2012). *Signals and Boundaries. Building Blocks for Complex Adaptive Systems*. Cambridge, Londres: Massachusetts Institute of Technology.

Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE.

Lobachesky, B. (1830). *Geometrie imaginaire*. Berlín: R. Crelle.

Maldonado, C.E. (2007). *Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicaciones*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

Maldonado, C.E. (2009). La complejidad es un problema, no una cosmovisión. *ucm Revista de investigación*, 13, 42-54.

Maldonado, C.E. (2014). ¿Qué es un sistema complejo?. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*,

Maldonado, C.E. (2016). Transformación de la no-Complejidad a la Complejidad. *Ingeniería*, 3(21), 411-426.

Maldonado, C.E. y Gómez Cruz, N.A. (2011). *El mundo de las ciencias de la complejidad*. Bogotá: Universidad del Rosario.

Medina, J. y Ortegón E. (2006). *Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos*

para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL, ILPES.

Morin, E. (1984). *Ciencia con conciencia*. Barcelona: Editorial Anthropos.

Morin, E. (1993). *El método*. Madrid: Editorial Cátedra.

Morin, E. (1999a). *Introducción al pensamiento complejo*. España: Gedisa Editorial.

Morin, E. (1999b). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. París: Ediciones de la Unesco.

Morin, E. (2004). La epistemología de la complejidad. *Gazeta de Antropología*, 20, 43-77.

Murray, G-M. (1995). *El quark y el jaguar*. Barcelona: Tusquets Editores.

Poincaré, H. (1892). *New Methods of Celestial Mechanics*.

Prigogine, I. (1997). *¿Tan solo una ilusión?* Barcelona: Tusquets Editores.

Riemann, B. (1854). *Ueber die Hypothesen, Welche der Geometrie zu Grunde liegen*. Gottingen: Werke.

Rodríguez, L. y Aguirre L. (2011). Teorías de la complejidad y las ciencias sociales. *Revista Nómadas*, 30.

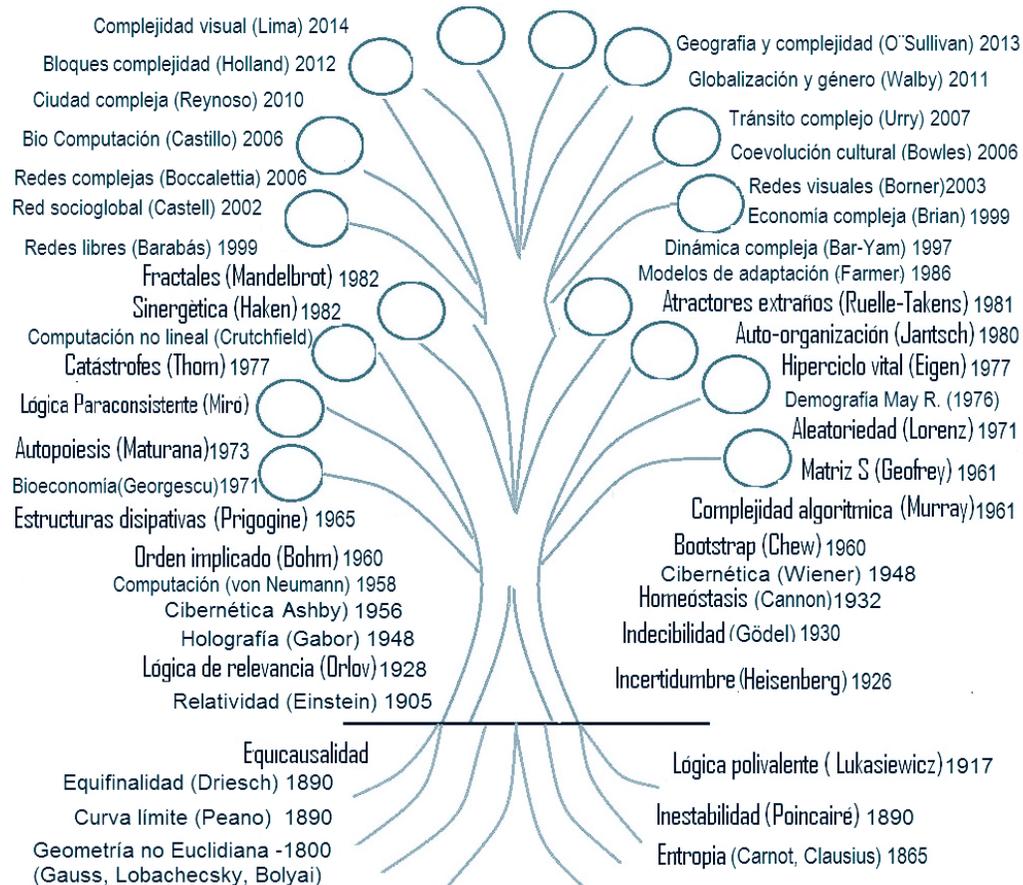
Von Foerster, H. (1979). Cybernetics of cyvernetics. En, K. Krippendorff (ed.). *Communication and Control* (pp. 5-8). Nueva York: Gordon and Breach.

Von Newman, M.E.J. (1996). *Self-organized critically, evolution and extinction*. Cornell University.

Anexos

Anexo 1. Evolución teórica de los sistemas complejos

CONCEPTOS Y CATEGORIAS DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS



Fuente: Elaboración propia.

