

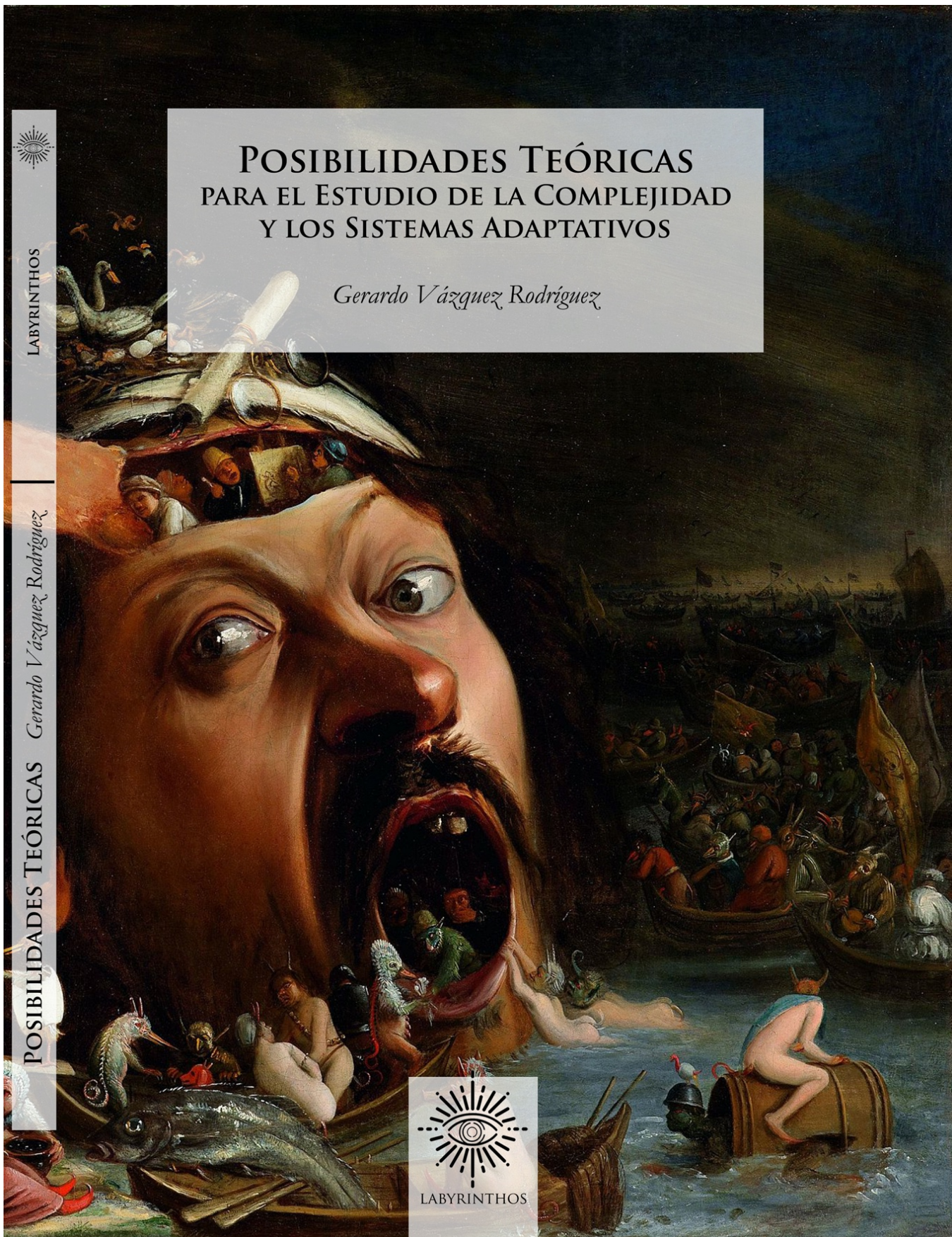


LABYRINTHOS

POSIBILIDADES TEÓRICAS Gerardo Vázquez Rodríguez

POSIBILIDADES TEÓRICAS PARA EL ESTUDIO DE LA COMPLEJIDAD Y LOS SISTEMAS ADAPTATIVOS

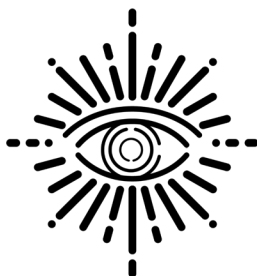
Gerardo Vázquez Rodríguez



LABYRINTHOS

Posibilidades teóricas
para el estudio de la complejidad y los sistemas
adaptativos

Gerardo Vázquez Rodríguez



Gerardo Vázquez Rodríguez

Este proyecto editorial fue financiado con fondos del programa PAICYT de la UANL.

Esta investigación, arbitrada por pares académicos, se privilegia con el aval de las instituciones editoras.

Comité científico:

Dra. Gabriela Carmona Ochoa/Universidad Autónoma de Coahuila

Labýrinthos editores, Escobedo, N.L. 66055

www.labyrinthoseditores.com

Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente-
ECAPMA

Calle 14 sur No. 14-23 111511, Bogotá Colombia

Julialba Ángel Osorio, Decana ECAPMA

Universidad Autónoma de Nuevo León

Ciudad Universitaria,

66451, San Nicolás de los Garza, N.L.

Rogelio Garza Rivera, Rector de la Universidad Autónoma de Nuevo
León (UANL)

Santos Guzmán López, Secretario General

Celso José Garza Acuña, Secretario de Extensión y Cultura

María Teresa Ledezma Elizondo, Directora de la Facultad de
Arquitectura

Primera edición 2019

Tiraje: 1000 ejemplares

© 2019 Gerardo Vázquez Rodríguez

© 2019 Labýrinthos editores

© 2019 Universidad Autónoma de Nuevo León

ISBN: 978-607-97767-6-3

Impreso y hecho en México

Diseño de portada e interiores: Labýrinthos editores

Portada: Fragmento de la pintura “La tentación de San Antonio” de Joos
Van Craesbeeck (con tratamiento informático)

Revisor Editorial: Eduardo Loredó Guzmán

Posibilidades teóricas para el estudio de la complejidad y los sistemas adaptativos

Gerardo Vázquez Rodríguez



Índice

- 7 Prólogo
- 19 Introducción
- 29 Paradigmas científicos: Lo convencional y lo complejo
- 41 Rastros de la complejidad en el mundo antiguo
- 57 Pensar desde los sistemas y lo complejo
- 61 Teoría General de Sistemas
- 79 Cibernética
- 95 Sistemas Complejos adaptativos
- 101 Modelado Basado en Agentes
- 117 Autopoiesis, Observador y los Dominios de la realidad
- 131 Teorías de los Sistemas Sociales
- 151 Lo Simple y lo Complejo
- 157 Bibliografía

Prólogo

Es un placer para mí realizar el prólogo de esta interesante obra sobre Complejidad y Sistemas Adaptativos. Se trata de una obra muy completa, pues el autor nos presenta un amplio punto de vista sobre la evolución temporal del estudio de la complejidad. Los caminos recorridos en esta obra están claramente delineados por los avances en los campos de la filosofía, la matemática y la biología, todos ellos promovidos por la capacidad tecnológica de los medios computacionales a través del tiempo.

Gerardo Vázquez, autor de esta obra, nos permite ver su experiencia multidisciplinar, desarrollada en ámbitos como la crítica del arte, el diseño, el urbanismo y la sociedad. El Doctor Vázquez ha sido becario del Fondo Nacional para la Cultura y las Artes, de la Universidad Autónoma de Nuevo León y de la Agencia Española de Cooperación Internacional AECI. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores con Nivel II.

En la introducción de esta obra se hace un análisis desde el punto de vista del autor sobre cómo la academia y sus representantes han plasmado su interacción en obras arquitectónicas, recordándonos que la arquitectura representa la evolución temporal del pensamiento creativo. Esta serie de cambios históricos fueron motivados por líneas de investigación académicas, pues es allí en la academia es donde existe el espacio y tiempo requeridos para la profundización del conocimiento. Sin duda, esta evolución arquitectónica siempre ha estado de la mano de todos los avances científicos de cada época. Este hecho puede verse reflejado en un mayor conocimiento sobre los límites de funcionamiento de los materiales de construcción y la producción histórica de materiales nuevos. La complejidad surge en el relato, como un síntoma del mayor conocimiento de un sistema arquitectónico y las múltiples corrientes científicas y filosóficas que fluyen través

de él, como respuesta a la interacción entre arquitectura y diseño.

Enseguida el autor cuestiona los procedimientos tradicionales de análisis de la ciencia convencional, lo que acredita a la rigidez analítica del método científico, capaz de abandonar el estudio de fenómenos complejos ante la falta de herramientas para su evaluación. La descripción de una realidad compleja requiere de las herramientas adecuadas para su análisis. Sin embargo, la racionalidad no ha dejado espacio a aquello que no puede medir o describir, como lo ilustra el autor. El reduccionismo puede ser cómodo y obviando las características particulares de cada ambiente, también se homogenizan las formas de pensamiento. No obstante, y de acuerdo con el autor, el determinismo y la ciencia actual nos han traído hasta este punto en la historia, con sus ventajas y desventajas, en un momento en el cual el estudio de formas complejas se comienza desde medios reduccionistas y racionales. Es así como lo natural representa una complejidad mayor que los medios que la puedan describir. En el mismo sentido, el autor profundiza en cómo lo social hace parte de la complejidad no estudiada por medio de herramientas científicas tradicionales.

En el siguiente capítulo, el autor nos muestra que el concepto de la complejidad es inherente a la existencia humana, desde el punto de vista eurocentrista y tradicional, aunque con características diferentes. Vázquez nos hace viajar por la Grecia antigua, en busca de los fundamentos del pensamiento europeo no lineal, con la multiplicidad como principal rasgo original de la complejidad. Es posible observar aquí el tándem Platón-Aristóteles, como la fuente principal del análisis de la linealidad y complejidad del pensamiento en la antigüedad.

Para con esta línea argumental, sumergir al lector en un mundo más conocido, más contemporáneo, delimitado por la interacción entre sistemas y complejidad. Emergen aquí cuatro escalas de nuestro universo conocido, la molecular, la celular, la individual y la social, las cuales están interactuando

constantemente entre sí. Desde el punto de vista holístico, el autor comienza a profundizar en cómo las propiedades emergentes de un todo, son una característica compleja de los sistemas. Vislumbramos aquí, el aporte por venir en los siguientes capítulos: la determinación de los principales conceptos que nos permitirán entender la relación entre lo complejo y lo sistémico, y su presencia en todas las escalas de la vida.

Al abordar el funcionamiento de los sistemas, el autor cuestiona su capacidad descriptiva de la realidad. El planteamiento de sistemas que miran a su interior o a su exterior nos enseña que estas dos visiones, aunque dependen del observador, coexisten de forma complementaria. Al parecer, la complejidad aparece cuando los sistemas llegan a su límite de funcionamiento como descriptores de fenómenos naturales o artificiales, bajo la Teoría General de Sistemas. En un esfuerzo por estudiar apropiadamente la complejidad, nacen los modelos de abstracción, base fundamental de la ciencia actual. Aquí, el autor promueve una discusión sobre las diferencias entre lo real y lo conceptual, como verdades fundamentales del raciocinio humano. La palabra “Ciencia” es presentada aquí como una disciplina creada por el hombre para facilitar su adaptación al universo que habita y del que sabe muy poco. En el camino trazado por el autor, por un lado define que la complejidad puede ser cuantitativa y por otro lado aparecen dos nuevas características de los sistemas: su conectividad y su variedad. En general, se destaca cómo el autor se preocupa mucho por dejar claro de qué tratan los conceptos básicos de la Teoría General de Sistemas, lo cual seguramente será muy agradecido por los lectores, ya que la construcción y descripción de teorías, depende de los mencionados conceptos. Gerardo Vázquez le dedica un capítulo a uno de estos conceptos, la cibernética.

La importancia de la cibernética radica en la similitud que existe entre la biología y los sistemas artificiales; estos últimos, usados como forma de simular la compleja realidad biológica

del hombre, para facilitar su estudio. Una parte destacada por el autor es la que describe el comportamiento de sistemas en medios cibernéticos. Específicamente, parte desde una visión mecanicista del comportamiento, como medio para describir la compleja relación entre objeto y su entorno. En paralelo, es posible observar cómo el autor describe que la evolución en la cibernética va a la par de un mayor conocimiento de los sistemas biológicos. Aquí cabe destacar que el autor habla textualmente de que “Entre mayor sea la diversidad de variaciones con las que el sistema tenga que lidiar, mayor será la diversidad de acciones compensatorias que deberá ser capaz de desempeñar y mayor será el conocimiento o la inteligencia que el sistema necesitará para saber qué acción realizar en qué circunstancias”.

Este concepto nos da un idea no sólo del principio de acción-reacción en ecosistemas, sino que también nos habla de un sistema que aprende con base en su experiencia, un comportamiento definido aquí como no lineal. Asimismo, aparece aquí la palabra “Cooperativo”, lo cual nos indica que además de aprender, los sistemas pueden colaborar entre sí. Posteriormente, Vázquez nos indica que existe una cibernética de segundo orden, la cual incorpora la observación como un valor adicional cognitivo del sistema. Probablemente, la subjetividad inherente al observador se traduce en complejidad del sistema. En este punto, el autor nos habla de la inteligencia artificial, como una consecuencia lógica de toda la evolución cibernética.

La computación aparece aquí, como la fuerza definitiva que impulsa la cibernética moderna y venidera. Posteriormente, el Doctor Vázquez nos hace caer en la cuenta de que la sintaxis puede ser la pieza básica requerida para superar las barreras de comunicación idiomática entre sistemas, sin duda, el comienzo de los lenguajes de programación computacional. Finalmente, nos comenta que la cibernética pretende simular

tanto la estructura del cerebro, como la forma en que funciona.

Y este es el último paso requerido para llegar formalmente a la ciencia de la complejidad. En este capítulo, nos habla sobre cómo se parte del reduccionismo tradicional a la complejidad sistemática y nos llama la atención sobre cómo, en ciencia, sin abandonar el reduccionismo, se pueden abordar problemas complejos. Es posible ver aquí que los avances tecnológicos posibilitaron una profundización en diversas ramas científicas, donde la modelación matemática de sistemas naturales fue altamente mejorada por medio de la computación, llegando a la simulación de sistemas sociales. Cabe destacar cómo el autor nos recuerda que la gran olvidada en esta evolución científica es la filosofía, la madre de todas las ciencias.

Después de todo el esfuerzo explicativo planteado a lo largo del texto, Vázquez nos indica que todo lo experimentado en complejidad nos lleva a un concepto conciso llamado “El sistema complejo adaptativo”, el cual a su vez nos presenta un recurso muy utilizado en el modelado de sistemas complejos naturales: “la caja negra” o agente, como se conoce por los estudiosos de la complejidad.

Cuando el autor nos habla de una técnica llamada “Modelado basado en agentes”, nos introduce de lleno al método científico, en el cual la modelación pretende llenar los vacíos de conocimiento sobre un sistema complejo. En este capítulo, el autor plantea una comparación entre la modelación matemática y la modelación por medio de multiagentes, la cual será muy interesante para los futuros lectores. Conceptos como actividad, sociabilidad, conectividad, interacción y contextualización entre agentes, son ávidamente explicados. Se presenta aquí la relación entre agentes y sociedad, como base fundamental de los sistemas complejos existentes. Es por eso que uno de los primeros sujetos de modelado por medio de multiagentes fueron los sistemas sociales, en los cuales el modelado de las relaciones entre interdependencia y causalidad se

hizo tan complejo, que requirió de ayuda extra para su entendimiento: nuevamente, la computación dice presente. Los ejemplos presentados por el autor sobre la aplicación del modelado basado en multiagentes, son precisamente sistemas biológicos los cuales son excepcionalmente complejos debido a que cada agente aporta su propia imprevisibilidad al sistema, haciendo compleja la predicción de su comportamiento.

A partir de aquí, el autor asciende un peldaño más y nos transporta a los límites del dominio de la realidad que percibimos, gracias a las innovaciones sobre complejidad y sistemas adaptativos, hechas por los afamados investigadores Maturana y Varela. Un concepto nuevo, la autopoiesis, surge debido a estas influencias. Su autorregulación y equilibrio son principios clave en su funcionamiento. Estos conceptos de alto grado de tecnicismo son claramente capaces de abrir nuevos caminos a explorar en la investigación de sistemas complejos. Nuevamente, nos provee de varias palabras clave y sus significados, para que el lector tenga todas las herramientas requeridas para sumergirse en un sistema autopoietico.

Según Maturana y Varela, los seres humanos actúan de acuerdo a su dinámica estructural, un concepto avanzado que vincula al ser humano con su medio ambiente. El ser humano representa un sistema cerrado con capacidad de comunicación, adaptación y aprendizaje, cuyo conocimiento adquirido no necesariamente es una representación de la realidad. Es decir, la interacción del ser humano con su entorno es una expresión propia de complejidad. A esta altura, en esta profunda inmersión en los sistemas complejos, el autor cita a Maturana nuevamente para resumir todas las reflexiones del capítulo en tres conceptos: el dominio de realidad, dominio de explicación y dominio cognitivo. De aquí en adelante, el autor nos narra una evolución lingüística y temporal del estudio de la complejidad, hasta llegar a un concepto fundamental que facilita la comprensión del ser humano: La biología del conocimiento, capaz de ligar dinámica, mecanismo y existencia.

En las siguientes secciones el autor da un giro hacia el estudio de los sistemas sociales, teniendo en Luhmann su mayor referente, quien contradice la idea antes presentada por el autor de sistemas que evolucionan con base en su propia complejidad. Este autor indica que sin un entorno el sistema no puede existir, como un simil de aquello de que “lo seres humanos somos muy gravitacionales” pues la sociedad humana se ha desarrollado bajo un valor específico de fuerza gravitacional, la cual condiciona todo su funcionamiento y comportamiento. Si existe una diferenciación entre un sistema y su entorno, esta puede ser ocasionada por el arte, como medio de comunicación entre sistemas, y es aquí donde el término “sociedad” es usado para designar un sistema comunicativo de códigos propios y permanentes. A medida que avanzamos, es posible observar que aquello que el autor identificaba como complejidad, cada vez se parece más a la existencia de la sociedad humana. En este capítulo, el autor establece una discusión entre Maturana y Luhmann por el uso del concepto de autopoiesis para describir sistemas no biológicos. Con mucha seguridad el lector disfrutará mucho con este debate.

Finalmente, el autor nos explica ávidamente diez características centrales para poder comprender cómo podemos identificar lo simple y lo complejo. Esto es debido a que para poder identificar la complejidad, es necesario primero identificar la simplicidad. Es esta pues, una obra capaz de dar una visión amplia sobre complejidad y sus formas para determinarla, con una cronología y análisis que van desde lo histórico pasando por lo filosófico y lo matemático, hasta llegar a los conceptos más recientes sobre sistemas complejos.

Desde el punto de vista científico, resulta extremadamente interesante esta obra, cumple con contextualizar el tema de la complejidad y con resaltar aquellos vacíos de conocimiento que quiere llenar. La complejidad es un hecho presente en todos los ámbitos de la sociedad, sólo que al tenerla presente en el día a día ignoramos su presencia. En la naturaleza, los frac-

tales representan un sistema infinito desarrollado en un espacio finito. El suelo, por ejemplo, es un sistema poroso que puede ser tan infinito como sea posible observar su estructura bajo el microscopio, y sin embargo todo está contenido en un trozo de suelo. El autor de esta obra nos permite ver que existe claramente una línea divisoria entre linealidad y complejidad. Sin embargo, como en la geometría, ellas pueden converger. En la naturaleza, esta convergencia se puede explicar en una sola palabra: Biodiversidad. El funcionamiento del todo el planeta, antes de la humanidad, siempre se rigió por una diversidad de variaciones con las que la naturaleza lidió a través de la era geológica, con una diversidad de acciones compensatorias que marcaron su evolución hasta nuestra época y un mayor conocimiento traducido en especies supervivientes, competidoras y eficientes. En contraste, el hombre ha basado su presencia en la tierra en la fuerza de la homogeneización. Un cultivo capaz de proveer alimento, es casi siempre definido por un solo tipo de cultivo, es decir, se homogeneiza la cobertura vegetal para facilitar la cosecha y las labores posteriores de labranza. Sin embargo, por mucho que se elimine la competencia de otras plantas, la complejidad subyacente traducida en malezas, plagas y enfermedades esta siempre ahí y es combatida por medio de herbicidas o fungicidas. Es como si el hombre permanentemente quisiera luchar contra la biodiversidad. La presente obra nos provee continuamente de herramientas para valorar toda esta serie de contradicciones que actualmente presenciamos, respecto a cómo el hombre interactúa con la naturaleza. Contradicciones claramente reflejadas en un cambio climático global, producto de nuestra falta de adaptación ante la complejidad biodiversa del planeta.

Queda pues en manos del lector hacer una valoración de esta obra, la cual puede ser abordada por profesionales de diversas áreas del conocimiento. La arquitectura, la ingeniería, el arte, la filosofía, la biología y la matemática, están claramente desarrolladas sobre sistemas complejos y esta obra nos ayuda a

interpretar mejor los escenarios bajo los cuales lo simple y lo complejo interactúan con nosotros, diariamente.

Gerardo Ojeda, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Colombia.

*Las cosas fluyen hacia donde tienen que fluir...
La vida es así. Parece que esté aleccionándote,
pero ya es hora de que aprendas a vivir de este
modo. Constantemente intentas que la vida se
adecué a tu modo de hacer las cosas. Si no quieres
acabar en un manicomio, abre tu corazón y aban-
dónate al curso natural de la vida*

Haruki Murakami

Introducción

*Tengo mucha intuición. Mi punto débil es el pensamiento lógico...
Y yo tengo mucha intuición. En cuanto me dicen «Elija la respuesta
correcta entre las tres siguientes», ya sé qué contestar.*

*—Yo no tengo tanta intuición como tú y he aprendido a pensar de
manera sistemática, como un cuervo atesorando pedacitos de cristal
en el hueco de un árbol.*

*—¿Y eso sirve para algo? —Quién sabe —dije—. Hace que ciertas
cosas te resulten más fáciles.*

—¿Qué cosas?

*—Por ejemplo, el pensamiento metafísico, el aprendizaje de las len-
guas...*

—¿Y eso es útil?

*—Depende de para quién. Habrá a quien le sirvan para algo y
habrá a quien no le sirvan para nada.*

*Al fin y al cabo, es cuestión de práctica. Que sirva para algo o que
no sirva para nada es otro asunto.*

Haruki Murakami

Para los últimos años de la década de los noventa finalicé mi aprendizaje escolarizado en arquitectura, mis estudios profesionales fueron cinco años intensos de formación académica tradicional, la educación que se me impartió al igual que a mis compañeros de aulas fue de gran carga convencional y necesaria. En esa época, las ideas fundamentales para el aprendizaje de la arquitectura eran la forma y la función, fueron las predominantes para crear diseños satisfactorios en esas generaciones. Las evaluaciones por parte de los profesores eran siempre consideradas a partir del cumplimiento de estas dos grandes premisas. Por lo tanto, fue preponderante estudiar a profundidad a los principales artífices de este tipo de arquitectura, el material académico de todos los días era hablar y aprender sobre patriarcas del diseño arquitectónico como, Le Corbusier, Frank Lloyd Wright, Oscar Niemeyer, Walter Gropius, Alvar Aalto, Richard Neutra, Ludwig Mies Van der Rohe, Luis Barragán, entre otros más. Todos ellos grandes

arquitectos y artistas que trajeron expresiones de diseño comprensibles para una nueva visión del mundo, ellos se encargarían de sustentar una innovadora forma de habitar en el mundo durante escenarios tan convexos como la revolución industrial en sus diferentes etapas, las grandes guerras, las posguerras y las revoluciones sociales de la segunda mitad del siglo XX. Este compendio de autores concibió un mundo de esplendor arquitectónico y de diseño que hasta su momento era desconocido en la vida cotidiana de la gran población. Para el diseño en general, un distinto e insólito mundo emergió desde la época de la primera revolución industrial; la educación, la producción, el consumo y el uso del diseño fueron, todavía hasta hace pocos años, el resultado de los hábitos ideológicos de una sociedad altamente funcionalista y afincada en el eterno progreso.

Sin duda, las bases de los creativos funcionalistas para elaborar sus grandes obras fueron los principios científicos mecanicistas de finales del siglo XIX y principios del siglo XX; los diseñadores fueron impregnados por el espíritu de progreso, mecanicismo y racionalismo que marcaría a la época, el aprendizaje y uso de estos conocimientos permitió crecer a la expresión arquitectónica, del diseño y del novel urbanismo masivo a gran escala. La influencia de estos diseñadores ha sido tanta, que, podríamos considerar que aun hoy en día, gran parte de la forma en que llegamos a concebir al diseño es una herencia directa de sus enseñanzas.

Pero, también en las aulas de arquitectura de la década de los noventa, existieron profesores más arriesgados en su cátedra, eran investigadores de la arquitectura y del diseño que nos documentaban y nos educaban sobre los radicales intentos de toda una generación de anarquistas del diseño para abandonar la extrema racionalización del diseño de posguerra, intentos loables de modificar la arquitectura y el diseño se evidenciaron por parte de arquitectos posmodernos como Aldo Rossi, Renzo Pianno, Mario Botta, Robert Venturi, Charles Kenks

o agitadores del diseño como Paul Virilio, entre otros. Estimo firmemente, que, desde la visión posmoderna que nos fue impregnada en clases, surgiría en el quehacer arquitectónico de mi generación el entendimiento de la fuerza emocional a la que se puede incitar desde la estética, la posibilidad de que las formas generen emociones e inquietudes transformadoras en los usuarios. Postularía también que, desde la perspectiva de la posmodernidad, entendimos la importancia de los espacios en la vida de los personajes que los habitan. Comprendimos también de lo radical que puede ser una propuesta de diseño en mancuerna con las fantásticas formulas del arte contemporáneo.

Pero más allá de las buenas intenciones formativas de la universidad, se manifestaba aleatoriamente ante nuestros ojos y de manera incierta, una nueva serie de enfoques creativos de diseño que conllevarían a excéntricas edificaciones y objetos a nivel mundial, estos nuevos objetos de variadas escalas, en definitiva, no terminaban de encajar con los procesos académicos del funcionalismo racional ni de la desafiante posmodernidad. La arquitectura y el diseño, para finales de los noventa y principios de la primera década del nuevo siglo, estaban sufriendo una transformación hecha a medida por los grandes cambios en la percepción social y por los grandes problemas que traía consigo el final de una época dedicada a la intensa industrialización y el progreso avasallador. A nivel mundial, obras como el museo Guggenheim de Bilbao de Frank Ghery (1992), la estación de bomberos de Vitra de la arquitecta Zaha Hadid (1993), el Museo del Holocausto de Daniel Libeskynd (2001) o la realización de grandes proyectos urbanos bajo planteamientos humanistas que contrapunteaban a la racionalidad (ejemplo de ellos eran las propuestas del Arquitecto Danés, Jan Gehl, la zona libre de automóviles Stroget de Copenhague de 1971 a 1998, proyectos de recuperación peatonal para ciudades Inglesas como Londres, Wakefield, Castleford en 2004, New York en 2007 -2008 y Sidney en 2007) acabarían por trasplantar nuevas fundamentaciones

posibles para realizar el diseño de una época en metamorfosis. Desde este nuevo escenario, el objeto de diseño estaba hecho para perturbar nuestra sensibilidad, dar significado a nuestros entornos y en gran medida ser el iniciador de ciertas conductas en nuestros comportamientos diarios. Los tiempos de este desconocido diseño, fueron los inicios del nuevo siglo; períodos que hablaban desde los inexplorados panoramas de los estadios en crisis ecológicas, económicas y de salud pública, masividad poblacional, hiperconsumo, información, comunicación y redes sociales, física cuántica, multidisciplina, inteligencia artificial, automatización y especulación urbana, por mencionar algunos de los temas más relevantes. Como se mencionó anteriormente, era indudable que la arquitectura y el diseño cambiaran radicalmente ante los nuevos tiempos, los fenómenos del diseño no podrían quedarse inertes ante los nuevos escenarios, por lo tanto, sus cambios y nuevas resoluciones fueron a la par de las grandes dinámicas que se generaron desde el inicio del siglo XXI. El nuevo diseño y la nueva arquitectura de los espacios deconstructivista y monumentales de inicio de siglo nos empezarían a relatar historias que no encajaban en lo estudiado académicamente, no hacían referencia ni de forma ni de función, tampoco las abandonaban, pero ya no tendrían su lugar primordial, estas formas conversaban directamente con el caos, lo sistémico, el existencialismo y con las paradojas holográficas de una nueva realidad.

Desde el enfoque de esta renovación del diseño, la academia de diseño de finales de los noventa nos preparó a los jóvenes arquitectos y diseñadores bajo panoramas y estructuras que se derrumbaron pronto. Nuestros apegos y principios educativos fueron afincados desde una ciencia reduccionista y en un arte clásico que nos permitían tener conocimientos claros y útiles para la media cotidianidad de la profesión, pero eran saberes que muy pronto serían carentes para propiciar una innovación en nuestra área de conocimiento. Cada vez más, se expandía en estas generaciones la idea de compensar la educación básica profesional por medio de nuevos conociemien-

tos que nos llevarían hacia áreas improbables como la complejidad, los sistemas caóticos, la nanotecnología, la neurociencia, la psicología social, la robótica, la economía y la biología, entre varias más.

El nuevo entorno comprometía a los arquitectos y diseñadores que buscaban un realce profesional para acoplarse rápidamente a las emergentes dinámicas del medio. Estas dinámicas que el entorno proponía eran caracterizadas por una visión multidisciplinar, de corte casi renacentista, se acentuaban en estas dinámicas los valores efímeros de la era de la información, se acrecentaba tanto la inestabilidad, como la oscilación social y económica. Esto fue creando un fluctuante escenario para el cúmulo de conocimientos formales que tendrían que sostener a los paradigmas de la arquitectura, el diseño y a las áreas próximas.

Todo lo anterior sucedía a la par de la época en que pude realizar mis cursos de posgrado y postdoctorado, que fue prácticamente toda la primera década del siglo XXI, me di cuenta y cada vez más, que pasaban por mis manos y por mis lecturas, documentos donde abundaban temas relacionales entre la arquitectura, el arte, el diseño y el urbanismo en un sentido manifiesto hacia lo que citaban como complejidad, sistemas complejos o sistemas complejos adaptativos, compendio de ideas que desde mi perspectiva del momento apuntaban más hacia una ruta de caos que hacia un orden estructurado de ideas posibles, eran ideales radicales para mi comprensión de lo que era hacer diseño y arquitectura. Mi desconocimiento era profundo sobre estas áreas del conocimiento, pero, pude intuir al igual que muchos colegas de la época que estos conocimientos nos daban nuevas y perturbadoras ideas para compaginar y dar configuración diferente a la profesión ante los nuevos tiempos y dinámicas del siglo entrante. Estos conocimientos sobre lo complejo y lo sistémico nos resultaron confusos a primera instancia, sin embargo, era claro que nos generaban apabullantes escenarios propicios y activos para el

diseño de espacios y objetos, desde estos escenarios podrían converger las necesidades que se proponían por medio de los nuevos paradigmas del entorno.

Decisivamente en mis estudios como arquitecto el imaginario de la certeza abundaba, nuestra formación persistentemente fue de corte materialista, bajo el enfoque reduccionista y racionalista, intentando desalojar de todas maneras la incertidumbre propicia de aspectos más subjetivos. Pero para los más inquietos, esta certeza totalitaria del “ser arquitecto” o de “ser diseñador”, siempre nos dejaría incógnitas que se veían superadas por el oficio y por las convenciones profesionales precisas para cada asunto, se dejaba de lado a la innovación que podría resultar de nuevas formas de hacer las cosas. Los entendidos de la complejidad, por el contrario, nos daban más incertidumbre que certeza, pero, precisamente bajo este proceso de dudas era el crecimiento de las propuestas caóticas de los sistemas, la enseñanza de lo complejo estaba más en el proceso que en el fin determinado.

Al adentrarme más en el entendimiento de la complejidad y los sistemas puede comprender que en realidad estos conocimientos distaban mucho de ser nuevos, eran mayormente desconocidos en muchas áreas del conocimiento formal. El entendido de una ciencia más orgánica, como lo es la complejidad, era muy antiguo, revelé para mi curiosidad, de la mano de algunos especialistas, que existen concepto y planteamientos de culturas antiguas relativos a lo que conocemos como complejidad y sistemas, que sí bien estas culturas pasadas no referenciaban a palabras como complejidad o sistemas si aplicaban sus conceptos y sus entendidos.

Como nota aclaratoria importante, quiero resaltar que el conocimiento adquirido en las aulas bajo los enfoques convencionales de las ciencias y las artes fue necesario para favorecer el aprendizaje de los conocimientos sobre complejidad y sistemas. La ciencia de la complejidad resulta posible, en mucho de la evolución del conocimiento desde la ciencia mecanicista.

Posiblemente no sería viable sustentar un postulado formal de la complejidad si no se hubiera desarrollado anteriormente un panorama reduccionista en cualquier área del conocimiento. La ciencia mecanicista que fue impulsada por grandes personajes como Descartes y Newton fue necesaria para levantar yugos que prevalecían desde la edad media sobre los individuos y sobre la sociedad. La revolución del conocimiento basada en la ilustración y el conocimiento científico desarrollo a mediano plazo condicionantes de vida que nunca se habían visto históricamente sobre la humanidad, a mediano plazo esta documentación científica llevaría a revoluciones industriales que conllevaron factores de vida diferentes y favorables. También el progreso de la industrialización desató en problemáticas que se acentuaron después de la segunda guerra mundial, problemas que ya no eran costeables estudiarlos desde métodos mecánicos y de análisis convencional, por lo tanto, toda una nueva generación de científicos se empezaría a desarrollar bajo una innovadora perspectiva, que intentaba formalizar ese lado poco convencional de la ciencia que había sido dejado de lado por los grandes pensadores de la ilustración y el progreso, esta nueva ciencia apostaba por integrar dinámicas aleatorias, por compaginar sistemas y entornos diversos, por replicar métodos extraños que se presentaban desde la biología y encontrar sentidos a las singularidades caóticas de la mente que se desecharon durante el máximo tiempo de la ciencia reduccionista. Así, en la época de posguerra se avocan desde diferentes ámbitos científicos y humanistas, investigadores, que procuran entender las aristas pocos convencionales y complejas de la realidad, buscando soluciones propicias para el nuevo entorno postindustrial.

Como se señaló líneas atrás, la hechura de trabajos que mezclaban algunas facetas de la arquitectura, del diseño y del arte con la complejidad, lo sistémico y lo adaptativo se incrementó. Eventualmente, durante las últimas décadas, muchos investigadores y profesionales de las humanidades encontraron respuestas en términos de la complejidad, también se in-

crementó la elaboración de proyectos de tesis de educación superior y de posgrado que incorporaban entendidos de la temática con grandes y honestas intenciones de acrecentar el conocimiento e incorporar respuestas factibles a las problemáticas de la realidad del diseño. Esto propició de forma metódica un nuevo entendimiento de los paradigmas arquitectónicos y de diseño que sustentan a la sociedad contemporánea y a la propia profesión, pero, en contraparte, muchas de las propuestas teóricas que relacionan al arquitecto y al diseñador con lo complejo y lo sistémico son aún muy dispersas y en gran parte de los trabajos de esta índole se sobrentiende que todavía no se ha podido establecer totalmente un puente teórico, firme y estructuralmente factible, entre las áreas del diseño y la complejidad.

Es evidente que mientras las escuelas de arquitectura y de diseño no contemplan la incorporación franca de nuevas materias que impartan los conocimientos relacionados con los nuevos paradigmas científicos y culturales seguirán existiendo carencias y dispersiones muy marcadas en los aparatos teóricos de los trabajos en cuestión.

Tanto lo complejo, lo sistémico, lo adaptativo y lo multidisciplinar pueden tener muy variados y paradójicos puntos de abordaje, será una rotunda verdad que todas estas temáticas tienen puntos de coincidencia relevantes, pero sus divergencias también son abundantes y significativas, por lo tanto, no será igual abordar la complejidad o la sistematización desde la visión holística, la cibernética, la inteligencia artificial o desde la biología del conocimiento o de posturas tan radicales como los sistemas sociales y su acoplamiento estructural, las definiciones correctas para cada problema y el apego a una ruta conceptual de conocimientos sobre la materia se vuelve relevante para generar un real proceso de adaptación a las disciplinas humanistas y sociales. En consecuencia, este libro ensaya la exposición y revisión de los instrumentos conceptuales que

consideramos básicos para entender a raíz el origen de las temáticas sobre lo complejo y lo sistémico.

En este texto se pretende la creación de un aparato teórico que describa una potencial y operativa ruta cronológica y conceptual de entre las bases originales que dieron pie al entendido de la complejidad y lo sistémico. Es copiosa y exacerbada la información que existe sobre la temática, por lo tanto, hemos intentado crear este itinerario de forma puntual y que permita a los atañidos crecer en su interés hacia nuevas posibilidades en el tema. Pedimos una salvedad por dejar de lado autores de gran relevancia para la temática, pero su situación en el origen de la materia no estaba tan clara ni definida, como en el caso de otros autores que fueron incluidos.

En consecuencia, el principal producto que intentamos generar en este documento es la creación de condiciones para traslapar un denso aparato teórico, como el de la complejidad, hacia instancias como las del diseño y la arquitectura.

Esté texto no es un libro de diseño, pero sí es un trabajo intencionado hacia los diseñadores (arquitectos, urbanistas, diseñadores en general, investigadores y estudiantes del área) que están trabajando bajo estos nuevos paradigmas en la profesión, incluyendo también a todos los interesados en el tema y que pretenden profundizar en el paradigma teórico - científico de lo complejo y lo sistémico.

Paradigmas científicos: lo convencional y lo complejo

Leía muchísimo más que yo, pero tenía por principio no adentrarse en una obra hasta que hubieran transcurrido treinta años de la muerte del autor.

«Sólo me fío de estos libros», decía.

—No es que no crea en la literatura contemporánea, pero no quiero perder un tiempo precioso leyendo libros que no hayan sido bautizados por el paso del tiempo.

¿Sabes?, la vida es corta.

Si leyera lo mismo que los demás, acabaría pensando como ellos.

Haruki Murakami

La visión múltiple que da forma a la complejidad de un problema o situación no es la aproximación convencional de la predominante ciencia actual, al menos durante los últimos doscientos cincuenta años la civilización se ha desarrollado desde la racionalidad, el mecanicismo y el reduccionismo, la ciencia reputada de nuestros días se basa principalmente en estos conceptos. Este formato científico del racionalismo cuenta con altas cualidades descriptivas y analíticas, funciona mecánicamente desde la idea de acrecentar la idea de certeza y control sobre las condicionantes pormenorizadas de la realidad, desechando los fenómenos que por su complejidad e incertidumbre fueran imposibles de describir bajo el método científico. Desde el pensamiento racionalista, múltiples factores de nuestra condiciones de vida fueron omitidos o restringidos por no tener una lectura factible bajo las condiciones del método científico, el reduccionismo de los acontecimientos de la realidad y la idea mecanicista de separar todas las partes de un todo para crear análisis pertinentes, repetitivos y prospectivos de la realidad tiende necesariamente a eliminar los resultados que emergen desde las coyunturas e interacciones que se dan entre las relaciones que establecen las partes formativas de un todo. El mundo científico actual encontró soluciones ampliamente plausibles bajo el formato de análisis

que le permitía descifrar y describir exhaustivamente los mecanismos que hacían funcionar a cierto objeto, circunstancia, órgano o proceso, las invenciones más sobresalientes desde este formato eran mecanismos configurados que se iban acoplando uno sobre otro, organizando convenios entre dispositivos que al final en su sumatoria llevaban siempre a la creación de una máquina u proceso. Estas técnicas resultaron altamente efectivas para el desarrollo de máquinas sujetas a procesos lineales, pero qué desestimaba por desconocimiento los procesos más complejos que no se ajustaban a situaciones lineales y estables que se repitieran mayormente en su funcionalidad.

El enfoque mecanicista intenta reducir invariablemente todos los fenómenos a partículas, materiales independientes de los demás materiales, todo esto gobernado por leyes reacias y deterministas, evitando permanente lo referente a procesos no estáticos y que cuenten con causas mutables, desde este escenario científico convencional se ofrece la promesa de un método de conocimientos completos en su certeza y objetivos.

En consecuencia, este conjunto de métodos racionalistas describe el universo como un complicado juego de engranajes que no dan lugar para procesos subjetivos sobre la vida, valores, ética, procesos creativos o visiones humanistas.

Galileo, Newton, Descartes y La Plass, entre otros, fueron los impulsores de los métodos científico, mecanicista, racionalista y reduccionista. A partir de la creación y utilización de sus métodos casi toda la ciencia ha intentado dividir y simplificar la materia y la realidad para poder predecir y dar el mayor dogma posible a los acontecimientos que se generan entorno a lo que entendemos como realidad. Posiblemente uno de los científicos que más postulados generalizó en la ciencia contemporánea fue Newton, desde su visión, la materia, el espacio y el tiempo son conceptos que conforman la realidad y también dan pie al entendimiento predecible del ser, sobre estos axiomas convencionales se entendió el movimiento de la

materia y fueron aceptables las fuerzas o leyes naturales que gobiernan lo real. Gran parte de la masiva institucionalización de una ilustración y su subsecuente racionalidad se originaron desde esta perspectiva reveladora que explicaba la realidad como un proceso permanente de causas y efectos, principio que situaba al ser humano sobre un escenario desde dónde era posible desestimar situaciones aleatorias o existenciales que llevarían a explicaciones radicales de una vida con fenómenos aleatorios y sin posibles causas o efectos no apreciables. Todo podía tener una explicación para la visión Newtoniana, era cuestión de identificar la asociación mecánica de una causa como origen y describir los efectos repetitivos que se suscitarían invariablemente.

La naturaleza, el origen y la validez del conocimiento Newtoniano están sostenidos en la premisa-visión del concepto de reflejo-correspondencial, que, según Turchin, (1990) se explica como: nuestro conocimiento es meramente un reflejo (imperfecto) de las disposiciones particulares de la materia que nos rodea. La tarea de la ciencia actual consiste ampliamente en realizar cartografías y crear correspondencia entre los objetos materiales externos y los elementos cognitivos internos (conceptos o símbolos), lograr una representación tan precisa como sea posible. La ciencia actual puede lograr estas tareas mediante las observaciones simple, donde la información lineal sobre los fenómenos externos es recolectada y registrada, dando forma de esta manera a imágenes internas, esto habría de desembocar en una representación ordenada, objetiva y con perspectivas de perfección del mundo externo, estos nos permitiría predecir gran cantidad de fenómenos, siempre y que se ajusten a estas observaciones no alterables.

Los anteriores supuestos pueden resumirse también en el principio de *conservación de las distinciones* de Heylighen (1990 p. 5): la ciencia clásica empieza por establecer distinciones tan precisas y homogéneas como sean posibles entre los distintos componentes, propiedades y estados del sistema bajo obser-

vación. Estas distinciones homogenizadas son estimadas como absolutas y objetivas, los mismos estándares para todos los observadores. Aunque el sistema evolucione, desde el reduccionismo conserva todas sus distinciones sin cambio alguno, pues los diferentes estados iniciales han sido registrados dentro de los diversos estados subsiguientes, y viceversa. Complementaría el mismo Heylighen (1989), por esta razón la visión convencional de la ciencia no permite la excentricidad, novedad o creación de algo desconocido o diferente. El proceso convencional científico acentúa el hallazgo de lo repetitivo y consecuente, sobre estos acontecimientos continuos se implica la construcción de teorías y convenios científicos.

Por lo tanto, en el suceso total del gran entramado científico reduccionista convencional, fenómenos como la mente, la vida, su organización o propósito no son admitidas tan fácilmente, puesto que éstos fenómenos son vistos principalmente como disposiciones particulares y singulares de partículas en un tiempo y espacio determinado, en gran parte estos fenómenos son aislados de toda interacción con el entorno o con los demás, evitando perturbaciones en los acontecimientos lineales. Estos fenómenos que tienden a una relatividad son más continuamente equiparados a lo denominado como ciencias de la complejidad y por lo tanto desde un enfoque convencional son sucesos anómalos. Bajo las premisas convencionales, estos fenómenos nada simples han sido descartados de la ciencia tradicional, son rehuidos permanentemente por su poca capacidad de generar métodos o procedimientos medianamente estables.

En esencia la ciencia convencional y su efectividad están basadas en simplificar (reducir) la realidad, postular y analizar los fenómenos hasta llegar a sus bloques más simples, presupone que una vez hecho esto, el fenómeno se volvería perfectamente estable desde la descripción del fenómeno estudiado, así, se le podrá predecir y dar certeza, el conocimiento ganado

sería meramente un reflejo de aquél orden ya preexistente en la propia situación, fenómeno o proceso estudiado, se conocería su mecanismo desde la descripción lograda.

Consecuentemente, por parte del método científico de observación se genera invariablemente un proceso de entendimiento lineal de la realidad, alejado de lo aleatorio y caótico, desestimando preferiblemente a los fenómenos de esta naturaleza.

La importancia del determinismo y del conocimiento objetivo en la mecánica clásica alcanzó su mayor momento siendo ajeno a las críticas que se ofrecían desde la idea compleja de los múltiples observadores de la mecánica cuántica, la teoría de la relatividad, y la dinámica no lineal (teoría del caos). Esto ha producido más de medio siglo de debate filosófico, resultando en la conclusión de que nuestro conocimiento científico del mundo es fundamentalmente incierto (Prigogine y Stengers, 1997). En relación a lo anterior, Gershenson, Heylighen (2005) y Cilliers, (1998) mencionan en forma de crítica sobre la esencia de certidumbre inquebrantable en la ciencia convencional, que la noción de incertidumbre o indeterminación es un aspecto esencial de la visión del mundo emergente que se centra en torno a la complejidad, desestimando la tan estructurada certeza del funcionalismo reduccionista.

Bajo el entendido clásico de la ciencia, la complejidad que se pudiera encontrar en la realidad se contrapone, por ejemplo, la manera en que el pensamiento Newtoniano intenta entrar en consentimiento con la idea de que el ser humano puede actuar bajo patrones no lineales será postulando una categoría independiente para la mente, alejando así la improbabilidad del concepto mental a sus métodos típicos. Los aspectos no mecanicistas del pensamiento o la sensibilidad del ser rompen completamente con el orden y la certeza de todo método científico, estos fenómenos serían expuestos como agentes ajenos a toda lógica convencional. Este mismo razonamiento que intenta dejar inquebrantable al modelo mecanicista, tam-

bién lleva a Descartes, desde su enfoque, a proponer una filosofía dualista y compensatoria para el aspecto humano, la cual asume que mientras los objetos materiales obedecen a leyes mecánicas, la mente no lo hace (Heylighen F. Cilliers P. Gershenson C., 2006). Sin embargo, aunque con facilidad podemos concebir a la mente como un recipiente pasivo que registra observaciones para desarrollar un conocimiento cada vez más completo, no podemos explicar cómo la mente puede actuar libremente sobre dichos sistemas sin contradecir el determinismo de las leyes naturales. Esto explica en algún sentido por qué la ciencia clásica ignora los temas concernientes a la ética, humanidades y lo referente a valores. Rigorosamente no existe un lugar en la ciencia convencional para acciones aleatorias que no cuenten con un patrón repetitivo y estén orientadas por propósitos fluctuantes no deterministas.

No obstante, el método reduccionista se ha implementado exhaustivamente y con gran éxito a variados campos de la ciencia como la ingeniería, química y a la medicina, donde generalmente se crean componentes semi-independientes para después agregarse y conseguir una función deseada, ejemplo de ello, la Ley de la gravitación Universal, la fuerza de atracción gravitacional (Heylighen, Cilliers, Gershenson, 2006). También el desarrollo de la medicina durante los últimos doscientos años es un claro ejemplo de reduccionismo con grandes logros en la ciencia, como ejemplo, la consecuencia en un corto tiempo, permitió acrecentar nuestra esperanza de vida. Explica Gershenson (2017), que hasta hace unos cien años la mayoría de las muertes en el ser humano eran provocadas por enfermedades infecciosas originadas por virus, bacterias, hongos o parásitos, pero al haber una causa principal infecciosa e identificada, esta se puede combatir atacando al agente con medicamentos o bien previniendo su propagación por medio de la higiene o de la vacunación, así estas enfermedades se han evitado, en realidad se corta de tajo eliminando al agente portador. Actualmente se han podido contener y curar estas enfermedades de origen infecciosas, pero esto habría generado

una transformación epidémica, consistente en que la mayoría de la muerte en humanos ahora son causadas por enfermedades crónico-degenerativas, tales como cáncer, diabetes, cardiovasculares y hepáticas. Hoy se comprende, desde el ámbito de la salud, que para atender estas enfermedades de características complejas el reduccionismo ha probado ser limitado en sus métodos, ya que estas enfermedades crónicas por lo general tienen causas múltiples y las cuales están relacionadas entre sí por diferentes factores y en diferentes escalas de interacción, por lo tanto, sería imposible hablar de una sola cura para el problema del cáncer o para la diabetes, sino que tendrán que existir curas de espectro múltiple y complejo que puedan generar modificaciones en las relaciones e interacciones que forman a estas enfermedades, es por esto que tanto en medicina como en biología se está acentuando tanto el estudio de lo relativo a la complejidad y la sistematización adaptativa. El reduccionismo también colaboró y se desarrolló ampliamente para poder contar con los avances actuales en computación y desarrollo de software, debido a estos procesos se han podido diseñar componentes que se han combinado en circuitos electrónicos y que a su vez se combinan en chips que se combinan para construir dispositivos electrónicos de gran variedad que a su vez se han agregado a una red global de millones de dispositivos. Desde el reduccionismo fue factible el amplio desarrollo de la computación, sin embargo, también en los sistemas computarizados se empiezan a encontrar situaciones donde no se pueden ignorar las interacciones complejas entre elementos, intentos de construir computadoras moleculares que cuentan con grandísimas capacidades de memoria almacenadas en moléculas de ADN y que intenta abandonar el almacenaje en silicio han sido limitados ya que sus componentes al empezar a interactuar cambian sus funcionalidades debido a sus interacciones no deterministas, lo mismo ocurre con las unidades de computación cuánticas. Paradójicamente las computadoras actuales, resul-

tantes del reduccionismo, nos permiten estudiar a la misma complejidad.

Como se mencionaba en puntos anteriores, el reduccionismo es útil en amplios aspectos, pero tiene limitaciones cuando las interacciones entre los elementos de un fenómeno se vuelven altamente relevantes, debido a que a estas interacciones sería imposible de simplificar y separar para poder reducir las dinámicas existentes y predecir comportamientos. En estos casos es imposible basarnos en un reduccionismo que intente dar certeza bajo la descripción de procesos inmutables.

Las restricciones de este método reduccionista se darán principalmente por la pobre explicación que algunos fenómenos pueden aportar a una realidad lineal basada de procesos repetitivos y de naturaleza constantes. El propio reduccionismo basado en sus exitosas premisas científicas fue limitándose únicamente a sus alcances posibles y por lo tanto se vio obligado a desechar fenómenos que se salían de su visión, así surgen nuevas aproximaciones científicas que intentaban dar sentido a lo no explicable desde las ideas reduccionistas. Enfatizamos, por lo tanto, que en el periodo contemporáneo de la sociedad se ha acrecentado de manera sobresaliente su acercamiento hacia una comprensión de la realidad desde los fundamentos científicos del pensamiento reduccionista y la ciencia mecanicista. El modelo reduccionista creó un escenario muy convincente para una evolución gestada desde el intelecto, perfeccionó nuestro acercamiento a un ordenamiento de ideas y generó modelos estables que acrecentaron un modelo de vida con aspectos sobresalientes, sin embargo, su propia evolución desembocaría en visiones contradictorias para sus propios orígenes e ideologías.

La ciencia del siglo XX floreció en la creencia que había trascendido completamente las limitaciones impuestas por sus orígenes naturales. Sin embargo, como señala Mandelbrot, la naturaleza ha gastado una broma a los matemáticos (científicos). Quizá a los científicos del siglo XIX les haya faltado ima-

ginación, pero no así a la naturaleza. Las mismas estructuras patológicas que inventaron los matemáticos para escapar del naturalismo del siglo XIX han resultado ser inherentes a muchos de los objetos que nos rodean (Mandelbrot en Martínez Alvares, 2007, p. 13).

La prevaleciente esencia del modelo reduccionista en la ciencia convencional no ha limitado necesariamente el surgimiento de ideas y nociones de una ciencia diferente que nos intenta mostrar la realidad desde otras posibilidades que surgen principalmente desde la complejidad de las múltiples interacciones entre los elementos que forman la simbiosis entorno y sistema. Además, la ciencia emergente de la complejidad (Waldrop, 1992; Cilliers, 1998; Heylighen, 1997) ofrece la promesa de una metodología alternativa que podría ser capaz de abordar semejantes problemas basados en interacciones. Sin embargo, semejante aproximación necesita la creación de bases sólidas, esto es, lograr un claro entendimiento y definición de los principios y conceptos subyacentes al tema.

Para varios autores, todavía la ciencia de la complejidad es incipiente en sus postulados y métodos, apenas la podríamos considerar un poco más que unas combinaciones de métodos, modelos y metáforas derivadas de una variedad de disciplinas y no se podría aun establecer totalmente como una ciencia integrada y sólida en sus explicaciones generales. En la práctica, las aplicaciones de la ciencia de la complejidad usan ya sea formalismos técnicos muy especializados, tales como los algoritmos de redes aglutinantes, simulaciones por computadora y ecuaciones diferenciales no lineales, o ideas y metáforas vagamente definidas, tales como la emergencia y el caos. Aun así, si a la ciencia de la complejidad se le puede adjudicarse un enfoque general, éste ha de encontrarse precisamente en su forma de pensar, la cual es intrínsecamente diferente de la forma de pensar asentada en la ciencia tradicional (Gershenson y Heylighen, 2005).

Sin embargo, la misma complejidad es quizás de las características más esenciales de nuestra sociedad actual, no podríamos negar que aún es una ciencia en proceso de formación y que faltan aún muchos detalles por puntualizar en su maduración.

Por ejemplo, desde un sentido de comprensión social y no solo científica se ha vuelto apremiante acercarnos al conocimiento y definición de la complejidad; los avances tecnológicos y económicos hacen que la producción, el transporte y la comunicación sean cada vez más eficientes, la masiva cantidad de interacciones entre la gente va en aumento, interactuamos cada vez más en un sentido sistémico, organizacional, institucional y complejo, de escala mundial. Por lo tanto, se vuelve palpable el aporte que la colectividad da a la realidad desde el valor de sus permanentes interacciones, fenómenos que no son posibles estudiar totalmente desde formulas reduccionistas. Los diferentes sistemas económicos, sociales, tecnológicos y ecológicos de los que formamos parte se vuelven cada vez más interdependientes y abundantes en contenido. Para Heylighen F. Cilliers P. Gershenson C. (2006), el resultado de estos escenarios sociales y de interacciones desemboca en un “macro sistema” o “sistema de sistemas” cada vez más complejo, donde un cambio en cualquier componente o elemento puede perturbar virtualmente cualquier otro componente, y esto es una forma por demás impredecible. Nunca como hoy en la historia habríamos tenido un momento de tanta interconectividad entre los individuos del orbe, esto acrecienta de sobre manera las interacciones que se dan y realza su importancia en los procesos generales de existencia.

En relación a la importancia de la complejidad inminente formada por las interacciones sociales dentro de nuestra masividad social, existen autores tajantes como Pierre Levi (1996, p. 20) que atestiguan que nuestra actual sociedad en realidad se sostiene alrededor de lo irreducible, como lo es: *la producción de vínculo social, lo relacional*. Contradiciendo las posturas más

convencionales y contemporáneas que nos indican hacia una sociedad de la información.

En consecuencia, a la importancia y actualidad de los anteriores postulados, buscamos presentar en la continuidad de este documento herramientas teóricas que den una ruta de fundamentos básicos sobre las ideas básicas de la complejidad.

Rastros de la complejidad en el mundo antiguo

Estaba en una edad en que, mirara lo que mirase, sintiera lo que sintiese, pensara lo que pensase, al final, como un bumerán, todo volvía al mismo punto de partida: yo.
Haruki Murakami

La idea de una forma distinta de pensamiento a lo lineal y reduccionista no es nueva, diferentes pueblos de la antigüedad sustentaron formas de conocimiento que manifestaban como principal intención, el relacionarse armónicamente con la naturaleza para establecer un equilibrio con ella, admitiendo su mutabilidad, incertidumbre, diversidad y complejidad. Culturas originales de regiones como la China, Tíbet, Mongolia, Corea, Japón, Indonesia, Ceilán, Grecia y México, entre otras, acrecentaron su desarrollo filosófico y reflexivo bajos premisas de la complejidad, claro que, sin mencionar este adjetivo, pero sus lineamientos serían equivalentes a lo que actualmente consideramos como los principios de lo complejo. Debido a razones de diversa índole, entre ellas el gran predominio del pensamiento euro-centrista, todavía hoy no se ha reconocido justamente el valor de ese destacado pensamiento tradicional de características no lineales.

Podríamos tomar diferentes rutas viables para fundamentar la existencia de los paradigmas de la complejidad en la antigüedad pero un apartado de nuestro interés es crear una narrativa sobre el conjunto de pensamientos antiguos del pueblo griego, debido a que posiblemente será el formato de ideas que más influyó sobre la conformación de nuestro mundo occidental contemporáneo, de muchas manera los griegos se volvieron el lugar convergente de ideas que provenían desde diversos parajes del lejano Oriente, Asia, Egipto e India, entre otros. Precisamente por estas influencias empiezan a surgir en el pueblo griego consideraciones o planteamientos de cono-

cimientos en cuestiones primarias como la metafísica, humanidades y física.

Como se mencionó anteriormente, la idea de un pensamiento no líneas no es nueva en los fundamentos de nuestra cultura, desde la antigua Grecia podríamos encontrar huellas de su origen. Una de las originales escuelas de conocimiento de Grecia estaba formada por los considerados pre-socráticos, personajes que sin llegar a establecer un modelo formal de corte epistemológico si llegarían a elaborar las primeras reflexiones profundas sobre el origen de la naturaleza. Para Martínez (2007, p. 4) “Los presocráticos, más bien entregados a la consideración del origen y principio de la naturaleza, plantean cuestiones más cosmológicas que epistemológicas”. Cabe acotar que el pensamiento de los antecesores de Sócrates fue premonitorio y valioso para el desarrollo ulterior de los estudios sobre el conocimiento. El pensamiento de estos precursores trae consigo la fundamentación del mundo como un cosmos, haciendo resaltar el intento de favorecer que existe cierto orden en la naturaleza y que esto nos permitirá su causalidad.

Los presocráticos principalmente consideraban dos tendencias para explicar el origen de la naturaleza, una monista y otra basada en el pluralismo. La mónada retomada principalmente por los pitagóricos proveniente del griego *monas o unidad y de monos que deriva en uno o unidad* fue un término propicio para exponer el concepto de Dios o el primer ser o la unidad originaria, también intentaba comprender en el concepto a la totalidad de todos los seres, su principal significación intentaba reflejar un entendido del cosmos sin divisiones.

Por otra parte, están entre los presocráticos quienes consideran más una visión del cosmos desde el pluralismo, concepto metafísico encontrado al monismo. Para el pluralismo, la totalidad está compuesta de realidades independientes pero que tienden a estar interrelacionadas. El pluralismo aparece cuando sobre una realidad fundamental, se examina si tal

realidad de base es una o múltiple, simple o compuesta. A estos postulados que afirman la multiplicidad se les denomina pluralismo y parecen ser el origen griego de una visión que contempla características de lo que hoy llamamos principios de complejidad.

Podemos encontrar similitudes entre los pensadores y filósofos pluralistas con los entendidos de la complejidad contemporánea, ejemplos como Anaxágoras y Empédocles, quienes fundamentaban su pensamiento en condicionar que múltiples elementos no son reducibles los unos a los otros. Anaxágoras expone que todo está compuesto por múltiples elementos, los cuales están ordenados por el *nous*, concepto equivalente a mente, una fuerza prevaleciente y superior en el universo, por su parte Empédocles menciona que todos los objetos estaban compuestos por cuatro elementos básicos a los cuales llamo raíces, agua, fuego, aire y tierra, estas raíces elementales se unían gracias a la fuerza del amor y se separan debido a la fuerza del odio. Para Empédocles la vida sólo es posible si existe un balance entre ambas fuerzas, si existe demasiado amor entonces no puede haber cambio o si predomina el odio no puede haber estabilidad, la vida necesita tanto de cambio como de estabilidad, por lo que requiere tanto amor como odio, fuerzas que enaltecen características de las interacciones entre elementos de una realidad, entorno o sistema.

Demócrito, también postuló desde el pluralismo que los cuatro elementos básicos estaban unidos por átomos, un átomo es referente a algo que nos es divisible. Como singularidad del tema, la propia medicina griega pensaba que la enfermedad se propicia por un desbalance de los elementos raíz. La comprensión del cosmos desde los presocráticos griegos esta acentuada en la dualidad, la idea de descubrimiento y exploración de la naturaleza no es afín nunca a una verdad absoluta, siempre existe algo que ya es y tiende a la permanencia, en contraste siempre está edificándose algo, modificándose en constante dinámica.

Los primeros pensadores griegos favorecen al reconocimiento de una naturaleza de origen compleja y a la postre de este conocimiento se tuvieron que extender visiones amplias que permitieran la integración de los diversos conocimientos. Esto irá enraizando a la postre una visión de corte holístico sobre el acopio de los conocimientos griegos.

Subsecuentes a los presocráticos aparecerían dos de los principales pensadores de la antigüedad occidental, primeramente, surge Platón y posterior a él, sobresaldría uno de sus alumnos, llamado Aristóteles, ambos prevalecen por sus principios filosóficos propuestos para pensar la realidad. Estos pensadores analizan el mundo y su realidad desde métodos diferentes, estos fundamentos contrapuestos establecen una dualidad constante en el pensamiento griego.

Se presenta a continuación breves resúmenes de los puntos más sobresalientes en las filosofías de ambos personajes, con la intención de contrastar sus ideas en relación al cometido de hacer notar los orígenes occidentales de un pensamiento afín a la complejidad. Sería tarea ardua describir todos los grandes pasos que estos antiguos pensadores añadieron a la construcción del mundo contemporáneo, realizar lo anterior significaría un largo tratado de ideas y discusiones, sus ideas fueron fundamentales y fundantes en un mundo desaparecido que dio legado a la actual civilización. Nuestra intención sólo es dar un breviario de sus principales conceptos e ideas en relación a su entendimiento de la realidad.

Platón fue quien indiscutiblemente se acercó más a postular un conjunto de ideas cercanas a la complejidad, su pensamiento dialéctico será un claro ejemplo. Dialéctica que proviene del griego *dialektiké tekhné*, y que se podría resumir como el arte dialéctico y desde el verbo *dialego*, podemos definirla también como la acción de conversar o discutir. En los primeros diálogos de Platón, la dialéctica aparece como el arte o esfuerzo de hallar definiciones, mediante el método socrático de preguntas y respuestas, en diálogos posteriores, la *synagogé*,

la reunión, y la *diáiresis*, la separación, aparecen como los elementos definidores de la dialéctica platónica, en cuanto representa saber dividir por géneros y diferencias, hasta que Platón identifica su propia filosofía con la misma dialéctica: la última de las enseñanzas que recibe el filósofo-rey, o la visión de conjunto que adquiere quien logra ascender por todos los escalones de la opinión y la *episteme* hasta el conocimiento de las ideas (Cortés Morató, J y Martínez Riu, 1996). Es decir, el método dialéctico de Platón consistía en crear inicialmente la división, *diáiresis*, de una idea por géneros y especies. La segunda parte del método dialéctico consistía en la *synagogé* que es el procedimiento inverso a la *diáiresis* y que consiste en la unión y conjunción de varias características a una única idea que las englobe. A través de este método se manifestaban definiciones que apelaban a la significación lógica de un concepto por medio de la discusión, desglose y posterior acoplamiento de ideas que emergían de discusiones abiertas y no dictadas por un criterio lineal de observaciones repetidas en acontecimientos supeditados a un proceso de la naturaleza, en este método las interacciones dialécticas entre los individuos conformarían la lógica y unificarían ideas sobre un concepto. Un apartado de incipiente complejidad platónica es la recurrencia hacia la importancia de valorar las interacciones colectivas que se generan sobre un concepto desde el pensamiento de distintas mentes.

Platón a partir de su pensamiento dialéctico se convirtió en uno de los principales precursores de los sistemas complejos, comprensiblemente, sin utilizar el término “complejo” ni nada parecido, ni proponiéndose una teoría sobre tales condiciones de existencia de la realidad. Platón desarrolla una ingeniosa explicación de la existencia estructural y dinámica del mundo, excepcionalmente avanzada, para ello utiliza los conceptos de: ser, no-ser y otro en sus interconexiones y desconexiones. Precisamente a este doble, complementario y dicotómico proceso le denominó *Symploké*. Para Armesilla y Santiago (2013, p. 1) Demócrito de Abdera fue el primero en

plantear esta idea, la retomaría Platón y hace referencia al entrelazamiento dialéctico de las cosas que constituyen una situación estable o efímera, una totalidad sistática o sistemática (un sistema) en la que se dan momentos de conexión y conflicto y de desconexión e independencia entre sus partes (formales o materiales), sus secuencias o términos, etc., comprendidos en esa *Symploké*.

Platón acentúa en su pensamiento un principio permanente de primigenio relativismo que lo aleja de cualquier determinismo primario: aunque en la doctrina de las ideas, Platón define al ser auténtico como idéntico e inmutable, en los diálogos Sofista y Parménides llega a la conclusión de que los géneros supremos —el ser, el movimiento, el reposo, la identidad y el cambio— pueden ser concebidos solamente como si cada uno de ellos fuese y no fuese, resultase igual y no igual a sí mismo, idéntico a sí mismo y que pasa a su “otro”.

“Así, por ejemplo, el ser considerado en sí es único, eterno, idéntico, inmutable, invisible. Pero ese mismo ser considerado respecto de su “otro” contiene en sí la diferencia, es mutable y dinámico. De ahí que el ser incluya en sí la contradicción: es uno y múltiple, eterno y perecedero, mutable e inmutable, permanece en reposo y se mueve” (Lovchuk, M.T.1979, p. 61. et. al Giner, S., 1990, p. 47-48).

Por lo tanto, podríamos considerar que,

“Platón fue el primero que hizo ver que el programa monista, el “gran relato mítico” de la Antigüedad, que había sido formulado precisamente en nombre del ideal del conocimiento más pleno y definitivo, es paradójicamente incompatible con ese ideal, tanto o más como lo es el programa escéptico del pluralismo radical. Ambas alternativas, señala, son incompatibles con el discurso lógico de la razón humana. Es decisivo tener en cuenta que no sería posible “probar de frente” mirando a la Materia o al Ser— la tesis de la *Symploké*” (Bueno, 1993, p. 191).

En lo general y para intentar soportar la idea de *symploké* bajo un concepto general, podríamos afinar sus diversas acepciones y matices. Para Bueno (1993 p. 194-195)

“Según los contextos – Symploké siempre gira en torno a una misma idea: entrelazamiento de hilos en la tela, de mimbres en la cesta o incluso de espadas entrecruzadas, o de letras en el texto y al mismo tiempo desconexión. Entrelazamiento y a su vez, desconexión de las cosas entrelazadas con terceras; el principio de Symploké, así interpretado, alcanza un significado claramente materialista. Al menos, él es incompatible con cualquier tipo de concepción ontoteológica del mundo que presuponga un Dios creador y gobernador del Universo”.

Por lo tanto, el principio de *Symploké* nos permite evitar una reflexión limitada, unilateral e inflexible de la materia como unidad-suma de conjuntos, por lo que nos capacita para comprender la realidad como un torrente de configuraciones dinámicas que se presuponen y la vez se transgreden, que se ordenan y desordenan en un pendular tridimensional que sólo conoce ritmo y compás a ratos, entonces, la configuración del mundo se muestra como indicios de fracturas más profundas, esas líneas divisorias de círculos de objetos que llamamos categorías” (Bueno, G., 1993, p. 195-196).

Platón planteaba de primera mano con sus métodos una visión muy cercana a los principios de la complejidad actual, permitían sus modelos acercarnos al contenido de ideas que fundamentaban la realidad desde el peso de las interacciones que se establecerían entre los elementos de la realidad, también se lograba transpolar desde una visión platónica este mismo sentido de interconexiones al mundo de las ideas y las emociones.

En contraste, la contraparte de la dualidad en el pensamiento griego es aportada por Aristóteles, quien fue discípulo de Platón. Este filósofo planteaba ya una visión más racional desde su trabajo más conocido y nombrado como, Teoría de las Categorías. Estas categorías aparecen descritas en el *Órganon*,

texto compilado por Andrónico de Rodas en el siglo I a.C. Según los especializados, este argumento fue obra de Aristóteles cuando aún estaba en la Academia de Platón (se discute aun si esta categorización surge después de la muerte de Platón o fue a la par de la enseñanza recibida). Este libro de *Categorías*, forma parte de los llamados textos esotéricos o acromáticos, una especie de apuntes que posteriormente se usarían en las enseñanzas dentro del Liceo (recinto aristotélico). Lo más característico de este trabajo son las mismas categorías descritas por Aristóteles. A continuación, se ejemplifican y describen:

1. De sustancia: hombre, animal, árbol, casa.
2. De cantidad: metros, años, décadas.
3. De cualidad: blanco, caritativo, rencoroso, regular.
4. De relación: mayor, menor, doble, triple.
5. De lugar: en el jardín, en la ciudad.
6. De tiempo: mañana, hace dos años.
7. De posición: vertical, inclinado, horizontal.
8. De estado: estar agotado, está feliz.
9. De acción: arremeter, manipula, gobierna.
10. De pasión: se ha herido, se ha golpeado.

En sí mismas estas categorías ni avalan ni rechazan nada, sin embargo, combinadas estas categorías provocan juicios deterministas que pueden afirmar o negar algo, por ejemplo “Hombre”, “come” y “ahora” por si solas no afirman ni niegan. Pero al combinarlas se convierten en una afirmación “El hombre come ahora”. Por lo tanto, estas combinaciones se utilizarían para realizar juicios verdaderos o falsos, con los que sí podríamos intentar conocer nuevas realidades. A partir de lo anterior, Aristóteles hace la distinción entre sustancia y accidente. La sustancia es la categoría fundamental, lo que existe

en sí mismo y los accidentes son categorías que existen en otro ser, en la sustancia.

Explicando el contenido de sustancia desde la perspectiva de Aristóteles (2009) y Bosch (2012), la primera gran diferencia de la sustancia con todas las demás categorías es que de la sustancia es de la que se predicán las cosas. Pero también, puede ser predicación de otra cosa. Por ejemplo “Caballo blanco de Napoleón”, la sustancia es el caballo, que es sujeto y lo que se está diciendo que es blanco y de Napoleón. La sustancia se divide en dos categorías, “sustancia primera” y “sustancia segunda”, ninguna es en otra cosa, sino que es en sí misma. *Caballo* es por sí mismo *caballo*. No necesita de un accidente para ser lo que es en sí. La sustancia primera es la base de todas las categorías, sin la sustancia primera no existe ninguna de las demás categorías. Puesto que, si no existiese la cosa de la cual se predica algo, no se predicaría nada. No tendría sentido la categoría de *blanco* si no existiera una sustancia que fuera *blanca*. Sólo la sustancia primera y la sustancia segunda son sustancias, pues ninguna categoría puede serlo, ya que no existen la sustancia *blanca*, sino que es una categoría que define el color de algo, el acto de la posesión de la *blancura*, pero en si no existe la *blancura* por sí sola, si no que recae en forma de accidente a una sustancia. Sobre la sustancia se postula que no tiene contrario. No existe una anti-sustancia, no existe de *hombre* un *no-hombre*, puesto que si se dijera *animal* y su contrario fuera *no-animal*, se podría decir que una *roca* es *no-animal* y sería cierto pero la sustancia de la *roca* no es *no-animal* si no que es *roca*. Otra característica esencial de la sustancia es que en ella además de residir los accidentes, estos no afectarían la sustancia en sí, podrá ser un *hombre negro*, pero si dejara de ser *negro* no por eso dejaría de ser *hombre*. Aristóteles observaba la realidad como consecuencia de la sustancia en sentido con las diferentes categorías, la sustancia establecería por si sola un conjunto indivisible y en total apego a la materia, no existiría una separación.

El postulado de Aristóteles surge en gran sentido como una contrapostura y crítica hacia el pensamiento de Platón, quien había propuesto la existencia de dos dimensiones en la realidad (principio que se ve negado a partir de la declaración de sustancia y las categorías): el *Mundo sensible* y el *Mundo inteligible*. Para Aristóteles, el mundo no tiene dimensionamientos, entrelazamientos, compartimentos o subdivisiones. Si bien, Aristóteles admite al igual que Platón, que la esencia es lo que define al ser, concibe a diferencia de sus antecesores la esencia como la forma que está inseparablemente unida a la materia, constituyendo juntas el ser, que es su afirmación de sustancia. En un largo plazo las afirmaciones Aristotélicas darían forma a un incipiente materialismo fundante del conocimiento lineal, reduccionista y racionalista, apegado a la materia como realidad prevaleciente.

Aristóteles rechazó fuertemente la teoría de las formas de Platón, donde se afirma que las ideas son la auténtica realidad, como consecuencia de ser subsistentes y autofundadas, afirma también que el mundo sensible, captado por nuestros sentidos, no es más que una reproducción de las propias ideas. Aristóteles, al contrario de Platón, que concebía la existencia de dos mundos posibles, poseía una teoría que discurría entre el mundo de las nociones y el mundo sensible. Según Aubenque (2017), para Aristóteles, Platón no ofrece una explicación convincente y racional al hablar de los dos mundos, entre las principales críticas están, su gran utilización de mitos, alegorías y metáforas, ejemplifica que no existe ninguna aclaración conceptual de la propuesta de dos realidades. No existe una relación clara de causalidad del mundo de las ideas respecto del mundo sensible, carece de exposición sobre cómo las ideas son causa de las cosas sensibles y mutables, por lo tanto, Platón en un sentido Aristotélico no deduce que de una idea se pueda derivar de un objeto.

La conducta pragmática de Aristóteles ante la realidad fue una sugerencia al desarrollo del conocimiento sobre la realidad y

así poder obtener control sobre ella, en la época antigua esto era imperante para no estar a merced del desconocimiento de la naturaleza. La propuesta Aristotélica era totalmente convincente en un tiempo donde la humanidad estaba lejos de poder demostrar condiciones más sutiles de la realidad (con el adelanto actual de la propia ciencia se han descubierto comportamiento de orden aleatorios y perturbadores de la linealidad y materialidad aseverada en los postulados convencionales de la ciencia clásica. Física Cuántica, Mediciones Atómicas, Matemáticas Complejas, Simulaciones o Supercomputadoras, entre algunas más son las áreas de conocimiento que estas alteraciones del mundo convencional han traído consigo), la idea de entender lo observable y palpable de la realidad era mucho más sugerente para los antiguos pensadores que intentar descubrir los mundos invisibles de los que hablaba Platón. El reduccionismo de los elementos naturales hacia sus sustancias primigenias permitía desarrollar el concepto de análisis, idea que fue recurrente en el descubrimiento de todo fenómeno estudiado desde el método científico.

Platón desde sus planteamientos recurría más a ideas que escapaban de estar aprisionadas al concepto más duro de la realidad, su idealización del mundo sutil de las ideas era de un índole metafísico e invisible para los ojos de todos, eso trajo consigo una desventaja muy marcada en el uso de sus conocimientos para poder impulsar su entendido como un modelo de enseñanza ante la naturaleza de la realidad.

Otro aspecto de la ideología de Platón se plasma dentro de La metáfora de la Caverna (Platón, 2013), una de sus enseñanzas más divulgadas. Este relato trata básicamente de una descripción ficticia que favorecía a entender el modo en el que Platón concebía la relación entre lo físico y el mundo de las ideas, y cómo nos movemos a través de ellos. Platón empieza hablando sobre unos hombres que permanecen encadenados a las profundidades de una caverna desde su nacimiento, sin haber podido salir de ella nunca y sin la capacidad de poder

mirar hacia atrás para deducir cuál es el origen de esas cadenas, permanecen siempre mirando a una de las paredes de la caverna, sujetos por las cadenas. Detrás de ellos, a una cierta distancia y colocada algo por encima de sus cabezas, hay una hoguera que ilumina un poco la zona, y entre ella y los encadenados hay un muro, que Platón equipara a las artimañas que realizan los tramposos y los embaucadores para que no se noten sus trucos. Entre el muro y la hoguera hay otros hombres que llevan con ellos objetos que sobresalen por encima del muro, de manera que su sombra es proyectada sobre la pared que están contemplando los hombres encadenados. De este modo, ven la silueta de árboles, animales, montañas a lo lejos, personas que vienen y van. Las luces y sombras crean la idea de vivir en una realidad ficticia. Platón sostiene que, por extravagante que pueda resultar la escena, esos hombres encadenados que se describen son una descripción de los seres humanos, ya que ni ellos ni nosotros vemos más que esas sombras engañosas, que simulan una realidad engañosa y superficial. Esta ficción proyectada por la luz de la hoguera los distrae de la realidad: la caverna en la que permanecen encadenados.

Sin embargo, si uno de los hombres se liberase de las cadenas y pudiese mirar hacia atrás, la realidad le confundiría y le molestaría: la luz del fuego haría que apartase la mirada y las figuras borrosas que pudiese ver le parecerían menos reales que las sombras que ha visto toda la vida. Del mismo modo, si alguien obligase a esta persona a caminar en dirección a la hoguera y más allá de ella hasta salir de la caverna, la luz del sol aún le molestaría más, y querría volver a la zona oscura, para poder captar la realidad en todos sus detalles tendría que acostumbrarse a ello, dedicar tiempo y esfuerzo a ver las cosas tal y como son sin ceder al desconcierto y la contrariedad. Sin embargo, si en algún momento regresase a la caverna y se reuniese de nuevo con los hombres encadenados, permanecería ciego por la falta de luz solar. Del mismo modo, todo lo

que pudiese decir sobre el mundo real sería recibido con bur-las y menosprecio.

Sobre esto, autores como Livraga (1998) sugieren que de alguna manera, Aristóteles, bajo sus premisas se dedicó a estudiar las sombras de la caverna, clasificarlas y enumerarlas, en un sentido pragmático esto aportaba subsistencia para los habitantes del lugar, generaba desarrollo y evolución dentro del conocimiento de la naturaleza inmediata, era una generación de conocimientos mucho más interesantes para la mayoría y susceptibles para el alcance de la época, esto se prolongaría y establecería ampliamente criterios para entender la realidad desde convenios colectivos que aceptaban estas enseñanzas. Sin embargo, Platón descifraba desde el mero hecho de la descripción de la caverna una sutileza de mundos que convergían y qué desde la observación de quien los descubría se podían establecer reflexiones sobre la complejidad generada por sus posibles interacciones, para este tiempo, esto era una apuesta de corte relativista y de un entendido espiritual más que práctico.

La ideología de Platón, sin embargo, no era relevante para pueblos que basaban su cultura en la ejecución del poder y del control social, culturas subsecuentes a los griegos tenían más afinidad por los modelos de naturaleza reduccionistas que establecían conocimientos más prácticos y que generaba explicaciones de corte más apegado a la realidad materias y no de corte abstracto. Los conocimientos pragmáticos fueron de gran valía para establecer modelos hegemónicos que acabarían generando civilización por todo el mundo antiguo. Subsecuente al esplendor de Grecia, el imperio más influyente fue Roma y su vasta civilización, este dominante poderío se caracterizaban por tener pensadores de corte pragmático, sus modelo de entendimiento de la realidad se basaban en el sentido de poder y progreso por medio del control de la materia, sus eruditos eran pensadores de principios esquemáticos que ayudaron a ejecutar un conocimiento que prefería la linealidad

de los acontecimientos y omitían las ideas que causaban relativismo o especulación sobre la realidad.

En Occidente muchos intereses dominantes fueron gestionando a lo largo del tiempo una pauta cultural que trataba de imponer modelos de conocimiento basados en traer certeza al proyecto de control sobre el medio natural, conocer procesos y materiales para traer certidumbre a la existencia. Por lo mismo se vieron desestimadas por mucho tiempo las ideas que no se centraban en un dominio claro del medio natural, se desatendieron ideas que se caracterizaban por el entendimiento de criterios basados en el equilibrio de las interacciones propias de la naturaleza. Varios autores manifiestan este dominio de la naturaleza como un principio fundamental del modelo Eurocéntrico, para autores como Orser Jr. (2012) y Samin (1989), este formato de conocimientos trajo consigo un sesgo importante en la divulgación de conocimientos que no seguían un estricto lineamiento racionalista y de control. Este protagonismo de Europa como centro del mundo ha sido considerado un prejuicio cognitivo y cultural, que supone la existencia de experiencias históricas lineales movidas por esquemas culturales fijos que necesariamente siempre corresponden a lo provisto por la historia europea, considerando a las trayectorias históricas no europeas como formaciones incompletas o de poco valor científico y cultural.

Es necesario acentuar que el pensamiento reduccionista y de búsqueda constante en la materia apegada a la realidad acrecentó evidentemente el control sobre materias primas extraídas desde la naturaleza, esto permitió un constante crecimiento cultural basado en el progreso material pero también fue evidente la falta de profundidad en conocimientos más apegados a los principios relacionistas con el entorno y la naturaleza del individuo. Nunca dejaron de existir pensadores que cuestionaban el determinismo científico y cultural pero no fue hasta entrado el siglo XX que el propio reduccionismo

se vio obligado a entender fenómenos que anteriormente eran sus limitantes y desánimos intelectuales.

A continuación, centramos el desarrollo del texto en la explicación de este nuevo paradigma científico basado en la complejidad y la sistematización.

Pensar desde los sistemas y lo complejo

Cuando intento decir algo, sólo se me ocurren palabras que no vienen a cuento o que expresan todo lo contrario de lo que quiero decir.

Y, si intento corregirlas, me lío aún más, y más equivocadas son las palabras, y al final acabo por no saber qué quería decir al principio.

Es como si tuviera el cuerpo dividido por la mitad y las dos partes estuviesen jugando al corre que te pilló.

En medio hay una columna muy gruesa y van dando vueltas a su alrededor jugando al corre que te pilló.

Siempre que una parte de mí encuentra la palabra adecuada, la otra parte no puede alcanzarla.

Haruki Murakami

Sistema viene del griego *sistema*, un todo compuesto por partes. Por ejemplo, una ciudad sería un sistema al estar formada por edificios, calles, vehículos, animales, árboles, habitantes. Una persona también puede describirse como un sistema porque está formada por células, las células a su vez también pueden describirse como sistemas puesto que están formadas por moléculas, las cuales están compuestas por átomos, que a su vez están formados por partículas subatómicas. Por lo tanto, podríamos concebir a un conjunto de elementos como un sistema, los cuales serían subsistemas en relación al sistema original, si un sistema se relaciona con otros sistemas, este podría considerarse un meta-sistema. Podemos denominar a los niveles en los cuales describimos los sistemas como escalas, el número de escalas que serán útiles dependerán de nuestro propósito. Pero, por lo menos cuando describimos un sistema son necesarias dos escalas, la de los elementos o bien micro y la del sistema o bien nivel macro. Los elementos a una escala pueden agruparse en módulos, los cuales pueden ser considerados como escalas intermedias. Los sistemas pueden ser descritos no sólo en términos de sus componentes o subsistemas. También pueden describirse en términos de sus propiedades agrupadas en aspecto de sistema. Haciendo notar que, para

generar un sistema complejo, estos elementos por medio de sus interacciones tendrán que dar por resultado un elemento emergente. Por ejemplo, podemos considerar a una hormiga como el resultante emergente de un sistema compuesta por sus propias células. Estas células también pueden considerarse como subsistemas porque están compuestas de molécula. A otra escala las hormigas pueden relacionarse con otras hormigas, entonces podemos describir un meta-sistema, la colonia. Por lo tanto, dependiendo de nuestro marco de referencia, en un ejercicio epistemológico, podemos identificar cuatro escalas, la molecular, la celular, la individual y la social. Podemos llamar a una hormiga sistema, subsistema o meta sistema.

En los sistemas y su definición, el observador es el principal encargado de identificar y delimitar al sistema por medio de la determinación del entorno y la frontera entre él y el sistema. La descripción de la frontera dependerá del propósito que tengamos, esto se tendrá que considerar al tomar la decisión de describir a los subsistemas y meta-sistemas en distintas escalas. La constante en estos tipos de descripciones es que las interacciones entre los componentes de los sistemas en cada escala deben ser mayores que las interacciones con otros elementos fuera del sistema, esto facilita saber que componentes son los que conforman un sistema y también esto nos ayuda a comprender como se relacionan sus componentes para generar las propiedades emergentes de un sistema.

Las premisas anteriores nos permitirán entender a un nivel muy básico el entendido de lo complejo y lo sistémico, pero existen varios autores que nos permiten vislumbrar a una mayor profundidad las aristas de esta temática, autores como F. Heylighen (2007) , P. Cilliers (1998, 2007) y C. Gershenson (2007) aportan en sus publicaciones una línea de tiempo sobre la aparición de los diferentes postulados sobre sistemas y sobre complejidad en los tiempos modernos, para ellos los primeros postulados sobre algo parecido a estas ideas se da de

forma intuitiva por varios pensadores que contaban con mínimas herramientas para lograr crear un conjunto de postulados validos que logaran cuestionar los convencionalismo clásicos de la ciencia mecanicista. Estos primeros retos al pensamiento reduccionista, aparecieron al principio del siglo XX en el trabajo de filósofos, como Bergson, Teilhard, Whitehead, y en particular Smuts (1926), quien acuñaría la palabra holismo, la cual definió como la tendencia de un todo a ser mayor que la suma de sus partes, esto suscita la cuestión de qué es exactamente este todo que genera algo más que la suma básica de sus elementos.

Anué no fue planteado desde una lógica sistémica, el pensamiento holístico (en un sentido amplio) está actualmente alineado con la teoría de sistemas en oposición a los enfoques reduccionistas, lo que es ampliamente consistente con el punto de vista de Smuts (Poynton J.C., 1989, p. 47).

En otras palabras, diríamos que un todo tiene propiedades emergentes, características nuevas que no eran pronosticadas en la suma básica de sus elementos, propiedades que no pueden ser reducidas a las mismas propiedades de las partes. Por ejemplo, la sal de cocina (NaCl) soluble y tan común en nuestros alimentos, está formada por cristales de sabor salado, pero estos cristales emergen de las propiedades contrarias de sus completamente, como, el sodio (Na) que es un metal suave y violentamente reactivo, y el cloro (Cl), que es un gas venenoso, su mezcla e interacciones nos da por resultado la sal de mesa (Heylighen F., Cilliers P., Gershenson C., 2007, p. 120). Similarmente, una pieza musical tiene las propiedades del ritmo, la melodía y la armonía, las cuales están ausentes en las notas individuales que constituyen la pieza. Otro ejemplo es el producido en el cerebro y sus elementos, las neuronas, la consciencia humana no se encuentra en una sola neurona, sino que es un fenómeno complejo que emerge a partir de todas las neuronas interactuando entre sí. Podemos también ejemplificar con el fenómeno del agua, si lográramos hacer-

nos minúsculos y revisar entre los átomos de hidrógeno u oxígeno que la compone no encontraríamos agua en sí, solo podríamos observar las propiedades particulares de cada componente, pero el agua en sí sería la propiedad emergente de la interacción de sus componentes. Las particularidades del fenómeno emergente están en múltiples ámbitos de realidad y está relacionada con numerosas particularidades de lo que nos significa la experiencia de la vida cotidiana, estas propiedades de la complejidad las podemos encontrar en fenómenos sociales, artísticos, estéticos, económicos, de salud, entre otros muchos otros.

Newton y Descartes fueron tan célebres en sus fundamentos y aproximaciones que en algún momento parecía imposible que no pudieran dar explicación a cualquier fenómeno investigado por la ciencia, en los casos más complicados de indagar se estipulaba que era cuestión de tiempo para tener los correctos instrumentos de medición, se sobreentendía que el pensamiento científico convencional saldría adelante de cualquier circunstancia, aunque que se le escapara momentáneamente. Debido a lo anterior, es fácil de suponer que se haya ignorado la emergencia y el holismo durante tanto tiempo. También es de destacar que, en comparación con el reduccionismo, el holismo y la emergencia, parecían carecer de cualquier fundamento científico lógico, refiriéndose más a tradiciones místicas que a métodos matemáticos o experimentales (Heylighen F., 2007).

A continuación, describiremos los principales puntos que marcan la ruta propuesta para entender el origen y el *funcionamiento* teórico de lo complejo y lo sistémico.

Teoría General de Sistemas

“Nos sentíamos como si estuviéramos flotando a dos o tres centímetros del suelo. No sé, nos daba la impresión de que era mentira, de que una vida tan fácil no podía ser real”.

Haruki Murakami

Las primeras aproximaciones sobre una visión sistémica que provocaron a la ciencia convencional voltear la vista a estos temas, fueron sin duda alguna a partir de la incipiente formulación de la teoría de sistemas por Ludwig Von Bertalanffy (1973). Desde la biología y el modelado de sistemas matemáticos, Bertalanffy notó que los sistemas vivos, a diferencia de sus contrapartes mecánicas estudiadas por la ciencia newtoniana, son básicamente sistemas abiertos, cualidad que los apremia y estimula a tener que interactuar con su ambiente, absorbiendo y liberando materia y energía para permanecer vivos. Para Heylighen (2007) una razón por la que los modelos newtonianos fueron tan exitosos en sus predicciones, fue porque sólo consideraron sistemas mecánicos cerrados donde la interacción con el entorno era nula. Los sistemas abiertos, por otro lado, dependen de un ambiente mucho más grande y complejo que el sistema mismo, por lo que su efecto nunca puede ser verdaderamente controlado o predicho. Bertalanffy propuso no estudiar los sistemas en base a los componentes que los constituyen sino más bien bajo el enfoque de cuál es su estructura. Para Arnold y Rodríguez (1990) la perspectiva de la Teoría General de Sistemas (TGS) surge en respuesta al agotamiento e inaplicabilidad de los enfoques analítico reduccionistas y sus principios mecánico causales. El principio clave en que se basa esta teoría es la generalidad de una totalidad orgánica, mientras que el paradigma anterior estaba paradigmáticamente fundado en una imagen inorgánica del mundo.

Como comentamos anteriormente, existe una estandarización básica para hablar de sistemas, se tiene como percepción pri-

mordial sobre el tema un concepto de totalidad, cuyas propiedades no son atribuibles a la simple adición de las propiedades de sus partes o componentes y se identifica a los sistemas como conjuntos de elementos que guardan intensas y precisas relaciones entre sí, condición que mantienen al sistema de forma directa o indirecta unido de modo más o menos estable y cuyo comportamiento general persigue, regularmente, algún tipo de objetivo teleológico¹. Además de las anteriores definiciones que describen a procesos y situaciones internas del sistema, también debe considerarse que la Teoría General de Sistemas se complementa desde descripciones del propio sistema abierto en relación a su entorno, ambiente o contexto, dejando evidencia sobre la importancia de esta vinculación de relaciones y como esto queda establecido como una condición básica para la continuidad del sistema.

Para Arnold (1998), a partir de ambas consideraciones la Teoría General de Sistemas puede ser dissociada en dos grandes grupos de estrategias para la investigación en sistemas generales:

1. Las perspectivas de sistemas en donde las distinciones conceptuales se concentran en una relación entre el todo (sistema) y sus partes (elementos).

¹ Teleología es una línea de estudio que pertenece a la metafísica y se encarga de estudiar y analizar las causas, los propósitos o fines que busca un individuo u objeto. Por tanto, no se trata de un proceso aleatorio, ya que el fin justifica su razón de ser. Teleología deriva del griego *teles* que significa “fin”, y de *logos* que indica “doctrina” o “estudio”. En el área de las ciencias naturales, la teoría sobre la selección natural de Charles Darwin sirvió de explicación del porqué diversas especies animales evolucionaron como respuesta a una causa y fin específicos que era no extinguirse y adaptarse a los cambios naturales, por ello, se relaciona con el concepto de teleología. El uso más reciente del concepto de teleología hace referencia a los desarrollos tecnológicos que se han generado para dar respuesta a diversos propósitos determinados a través de un conjunto de procesos concretos. “Teleología”. En: *Significados.com*. Disponible en: <https://www.significados.com/teleologia/> Consultado: 15 de junio de 2019.

2. Las perspectivas de sistemas en donde las distinciones conceptuales se concentran en los procesos de frontera (sistema/ambiente).

El primer punto establece una visión del sistema a partir de las dimensiones relacionales que lo forman según el observador, por una parte, el todo que sería el sistema y por otra parte sus elementos integradores. El segundo punto propone una posible investigación del sistema desde las interacciones del sistema o de sus elementos en cualidad a sus interacciones de frontera y ambiente, *input* y *outputs* y sus condicionantes.

Lo anterior pareciera indicar que ambas visiones cuentan con una separación desde la perspectiva conceptual del observador, pero en realidad están funcionando a la vez, son procesos complementarios. Por lo tanto, nos interesa describir abreviadamente el proceso general del sistema que: Cada sistema tiene un *ambiente*, del cual está separado por una *frontera*. Esta frontera da al sistema su propia *identidad*, separándolo de otros sistemas. Materia, energía e información son intercambiados a través de esa frontera. Los flujos entrantes determinan la entrada del sistema, los flujos salientes, dan sentido a su salida. Esto nos provee con una forma simple de conectar o emparejar diferentes sistemas: es suficiente que la salida de un sistema sea usada como entrada por otro sistema. Por lo tanto, un grupo de sistemas emparejados a través de distintas relaciones de entradas y salida formarían una red. A su vez si esta red funciona con la coherencia suficiente, la consideraremos como un sistema íntegro, un supersistema, que contiene a los sistemas iniciales como sus subsistemas. Desde la perspectiva del nuevo sistema, un subsistema o componente no debe ser visto como un elemento independiente, sino como un tipo particular de relación o interacción que refiere a los flujos de información contenidos en sus entradas y salidas, esta dinámica o proceso puede ser visto como la función que este subsistema desempeña al interior del todo que lo abarca. La estructura interna o sustancia puede ser considerada como

irrelevante con respecto a la forma en que el subsistema desempeña esa función. Por ejemplo, la misma función procesadora de información puede ser desempeñada por las neuronas en el cerebro, los transistores en un chip o los módulos de software en una simulación. Esta es la visión de un sistema como una “caja negra” cuyo contenido no conocemos y no necesitamos conocer. Esto implica una ontología completamente distinta a la newtoniana: los bloques de construcción de la realidad no son ya partículas materiales, sino relaciones abstractas y organizaciones complejas que se forman a la par (Heylighen F, Cilliers P, Gershenson C, 2007, p. 120).

Así la teoría de sistemas de Bertalanffy (1973) pretende establecer isomorfismos, una equivalencia de formas entre diferentes sistemas, esto se sustenta desde el postulado de que todo sistema existe en función de la misma dinámica de red de interacciones que lo define, aun cuando los sistemas a primera vista pertenezcan a entornos completamente diferentes y sean desiguales en proporción o escala. Por ejemplo, una sociedad es en algunos aspectos similar a un organismo viviente, una computadora a un cerebro. Todo sistema contiene subsistemas y es contenido a la vez en uno o más supersistemas. Así, todo sistema, forma parte de una jerarquía que se extiende en forma ascendente hacia una totalidad cada vez más grandes, y en forma descendente hacia partes cada vez más pequeñas (de Rosnay, 1979).

Por lo tanto, es coherente bajo el postulado sistémico hablar de individuos que pertenecen a macrosistema y a su vez, ellos estarían formados por menores microsistemas. Es decir, un cerebro pertenece al supersistema individuo, a la vez que también posee diferentes glándulas y circuitos neuronales como subsistemas que lo forman. *La teoría de sistemas considera por lo tanto dos direcciones, la dirección descendente y la dirección ascendente, ambas direcciones son igualmente importantes para el conocimiento de la verdadera naturaleza del sistema.*

En complemento al entendido de las relaciones que se establecen entre sistemas y subsistemas, para Campbell (1974), el concepto de propiedad emergente recibe una definición más sólida a través de la idea de restricción y causalidad descendente. Los sistemas que a través de su emparejamiento forman un supersistema son restringidos y ya no pueden actuar como si fuesen independientes de los otros; el supersistema impone una cierta coherencia o coordinación a sus componentes. Resumiendo, no sólo el comportamiento del todo está determinado por las propiedades de sus partes (causalidad ascendente), sino que el comportamiento de las partes está en cierto grado limitado por las propiedades del todo (causalidad descendente). Adecuados a las dependencias entre componentes, sus propiedades ya no pueden cambiar en forma totalmente independiente, tienen que obedecer a ciertas relaciones; esto vuelve sin valor muchas de las propiedades individuales de estos elementos, y estarán ahora supeditados al estado de sus relaciones, el cual definirá ahora un nuevo tipo de propiedad emergente para todo el sistema. Causalidad descendente En un sistema jerárquico, la causalidad descendente es que toda propiedad de un nivel está determinada por las propiedades de los niveles superiores. El todo determina o influye en cada una de sus partes.

A partir de todo este compendio de ideas se evidenció que la ciencia convencional del mecanicismo y sus lineamientos entraron en un periodo que comparado con la Teoría General de Sistemas mostró limitantes insuperables para el estudio de nuevos fenómenos, por lo tanto, era posible la idea de un nuevo paradigma basado en la complejidad de los sistemas abiertos, esto intentaba plantear diferentes postulados de carácter holísticos para el entendimiento de la realidad.

Sin embargo, Arnold y Rodríguez. (1991) plantean que es conveniente advertir que no obstante su papel renovador para la ciencia clásica, la Teoría General de Sistemas no se despega, en lo fundamental, del modo cartesiano (separación sujeto/objeto).

Así, tanto la definición del *status* de realidad de los sistemas como el desarrollo de un instrumental analítico adecuado son utilizados para el tratamiento lineal de los comportamientos sistémicos (esquema de causalidad). Bajo ese marco de referencia los sistemas pueden clasificarse de las siguientes maneras:

- a. Según su entitividad los sistemas pueden ser agrupados en reales, ideales y modelos. Mientras los primeros presumen una existencia independiente del observador (quién los puede descubrir), los segundos son construcciones simbólicas, como el caso de la lógica y las matemáticas, mientras que el tercer tipo corresponde a abstracciones de la realidad, en donde se combina lo conceptual con las características de los objetos.
- b. Con relación a su origen los sistemas pueden ser naturales o artificiales, distinción que apunta a destacar la dependencia o no en su estructuración por parte de otros sistemas.
- c. Con relación al ambiente o grado de aislamiento los sistemas pueden ser cerrados o abiertos, según el tipo de intercambio que establecen con sus ambientes. Como se sabe, en este punto se han producido importantes innovaciones en la Teoría General de Sistemas (observación de segundo orden), tales como las nociones que se refieren a procesos que aluden a estructuras disipativas, autorreferencialidad, autoobservación, autodescripción, autoorganización, reflexión y autopoiesis.

En los planteamientos generales de Bertalanffy (1976) se denota su gran interés por formalizar la idea de una filosofía de sistemas, el consideraba importante explorar la idea de cualidades metafísicas sobre esta teoría. El distingue características primordiales para la elaboración de una filosofía relativa sobre sistemas, una ontología de sistemas, una epistemología de sistemas y una filosofía de valores de sistemas.

La ontología es lo relativo al estudio del ser. La ontología ha sido considerada un segmento de la filosofía que se dedica al estudio de la naturaleza del ser, la existencia y la realidad, tratando de determinar las categorías fundamentales y las relaciones del ser en cuanto ser. Lo ontológico trata cuestiones abstractas como la existencia o no de determinadas entidades, lo que se puede decir que existe y lo que no, cuál es el significado del ser, etcétera.

En la filosofía sobre sistemas, la ontología se aboca a la definición del propio sistema y al entendimiento de cómo están plasmados los sistemas en los distintos niveles del mundo de la observación, es decir, la ontología se preocupa de problemas tales como el distinguir un sistema real de un sistema conceptual. Los sistemas reales son, por ejemplo, galaxias, perros, células y átomos. Los sistemas conceptuales son la lógica, las matemáticas, la música y, en general, toda construcción simbólica. Bertalanffy (1976) señala que la *distinción entre sistema real y conceptual está sujeta a debate, por lo que no debe considerarse en forma rígida*.

El segundo enfoque que se intenta dar a la filosofía de sistemas es la visión epistemológica. La epistemología es una rama de la filosofía que se ocupa de estudiar la naturaleza, el origen y la validez del conocimiento. En relación a esto, Arnold (1998 p.5) presenta un resumen escrito por Bertalanffy sobre su formación en el área del pensamiento y la investigación, donde subraya sus principales influencias y cómo es que estas le dan cualidades determinadas como observador de una realidad delimitada. Acota Bertalanffy (1976) sobre su visión epistemológica y señala

“[La realidad] es una interacción entre conocedor y conocido, dependiente de múltiples factores de naturaleza biológica, psicológica, cultural, lingüística, etc. La propia física nos enseña que no hay entidades últimas tales como corpúsculos u ondas, que existan independientemente del observador. Esto conduce a una filosofía ‘perspectivista’ para la cual la física, sin dejar de reconocerle logros en su campo y en otros, no representa el monopolio del conocimiento. Frente al re-

duccionismo y las teorías que declaran que la realidad no es ‘nada sino’ (un montón de partículas físicas, genes, reflejos, pulsiones o lo que sea), vemos la ciencia como una de las ‘perspectivas’ que el hombre, con su dotación y servidumbre biológica, cultural y lingüística, ha creado para vérselas con el universo al cual está ‘arrojado’ o, más bien, al que está adaptado merced a la evolución y la historia”.

La filosofía de valores de sistemas se preocupa de la relación entre los seres humanos y el mundo, pues Bertalanffy señala que la imagen de ser humano diferirá si se entiende el mundo como partículas físicas gobernadas por el azar o como un orden jerárquico simbólico. La Teoría General de Sistemas no acepta ninguna de esas visiones de mundo, sino que opta por una visión heurística².

Es interesante esta visión final que daría Bertalanffy sobre la filosofía que puede tratar a los sistemas, una visión heurística es un enfoque centrado en el conjunto de técnicas o métodos para resolver un problema, que en este caso se referiría al propio problema de la realidad tratado de una visión tan amplia como la sistematización. La heurística también es vista como el arte de inventar por parte de los seres humanos, con la intención de procurar estrategias, métodos, criterios, que permitan resolver problemas a través de la creatividad, pensamiento divergente o lateral. Esta visión heurística también vuelve permanente la idea de lo relacional entorno a un entendimiento múltiple desde la visión de variados observadores de diferente índole ante un mismo problema pues, la heurística se basa en la experiencia propia del individuo y en la de otros, para encontrar la solución más viable a una problemática o situación.

Bertalanffy (1976) reconocía las opiniones detractoras de una Teoría General de Sistemas, algunos científicos recurrían a manifestar su desacuerdo contra las ideas de esta teoría y es-

² La palabra heurística es de origen griego *εὕρισκω* que significa “hallar, inventar”.

pecialmente se centraban en la negación del principio de isomorfismo, creían firmemente que eran incomparables cosas tan dispares como un ser vivo, una ciudad o una galaxia. El propio autor distingue el nacimiento de varios postulados que empiezan a crecer la idea en torno a lo sistémico desde variados enfoques, por ejemplo, la teoría de conjuntos de Mihajlo D. Mesarovic, teoría de las redes de Anatol Rapoport, cibernética de Norbert Wiener, teoría de la información de Claude E. Shannon y Warren Weaver, teoría de los autómatas o máquinas de Alan Turing y teoría de los juegos de John Von Neumann, entre otras.

Por lo anterior, dentro de la práctica del análisis aplicado de sistemas tiene como naturaleza propia el emplear diversos modelos, de acuerdo con la naturaleza del caso y con criterios operacionales. Sin embargo, muchos conceptos, modelos y principios de la Teoría General de Sistemas, son aplicados constantemente a sistemas materiales, psicológicos y socio-culturales, urbanos, etcétera.

Bertalanffy a lo largo del texto que elaboró sobre la Teoría General de Sistemas desarrolla una organización sólida de conceptos que darían forma a un glosario significativo para el posterior impulso de todos los trabajos relacionados a lo sistémico y a la complejidad. Marcelo Arnold en su documento, Introducción a la Teoría General de Sistemas (1998 p.6-11) recopila esta organización planteada, añade comentarios de otros autores y la titula como “*Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas*”. Consideramos oportuno exponer esta información como un aporte importante para el entendimiento y cumplimiento de la fundamentación original de Bertalanffy, aquí el registro de conceptos:

AMBIENTE: Se refiere al área de sucesos y condiciones que influyen sobre el comportamiento de un sistema. En lo que a complejidad se refiere, nunca un sistema puede igualarse con el ambiente y seguir conservando su identidad como sistema. La única posibilidad de relación entre un sistema y su ambiente implica que el primero debe absorber selectivamente

aspectos de éste. Sin embargo, esta estrategia tiene la desventaja de especializar la selectividad del sistema respecto a su ambiente, lo que disminuye su capacidad de reacción frente a los cambios externos. Esto último incide directamente en la aparición o desaparición de sistemas abiertos.

ATRIBUTO: Se entiende por atributo las características y propiedades estructurales o funcionales que caracterizan las partes o componentes de un sistema.

CIBERNÉTICA: Se trata de un campo interdisciplinario que intenta abarcar el ámbito de los procesos de control y de comunicación (retroalimentación) tanto en máquinas como en seres vivos. El concepto es tomado del griego *kibernetes* que nos refiere a la acción de timonear una goleta (N. Wiener, 1979).

CIRCULARIDAD: Concepto cibernético que nos refiere a los procesos de autocausación. Cuando A causa B y B causa C, pero C causa A, luego A en lo esencial es autocausado (retroalimentación, morfostásis, morfogénesis).

COMPLEJIDAD: Por un lado, indica la cantidad de elementos de un sistema (complejidad cuantitativa) y, por el otro, sus potenciales interacciones (conectividad) y el número de estados posibles que se producen a través de éstos (variedad, variabilidad). La complejidad sistémica está en directa proporción con su variedad y variabilidad, por lo tanto, es siempre una medida comparativa. Una versión más sofisticada de la TGS se funda en las nociones de diferencia de complejidad y variedad. Estos fenómenos han sido trabajados por la cibernética y están asociados a los postulados de R. Ashby (1984), en donde se sugiere que el número de estados posibles que puede alcanzar el ambiente es prácticamente infinito. Según esto, no habría sistema capaz de igualar tal variedad, puesto que si así fuera la identidad de ese sistema se diluiría en el ambiente.

CONGLOMERADO: Cuando la suma de las partes, componentes y atributos en un conjunto es igual al todo, estamos en

presencia de una totalidad desprovista de sinergia, es decir, de un conglomerado (Johannsen, 1975, p. 31-33).

ELEMENTO: Se entiende por elemento de un sistema las partes o componentes que lo constituyen. Estas pueden referirse a objetos o procesos. Una vez identificados los elementos pueden ser organizados en un modelo.

ENERGÍA: La energía que se incorpora a los sistemas se comporta según la ley de la conservación de la energía, lo que quiere decir que la cantidad de energía que permanece en un sistema es igual a la suma de la energía importada menos la suma de la energía exportada (entropía, negentropía).

ENTROPÍA: El segundo principio de la termodinámica establece el crecimiento de la entropía, es decir, la máxima probabilidad de los sistemas es su progresiva desorganización y, finalmente, su homogeneización con el ambiente. Los sistemas cerrados están irremediabilmente condenados a la desorganización. No obstante, hay sistemas que al menos temporalmente, revierten esta tendencia al aumentar sus estados de organización (negentropía, información).

EQUIFINALIDAD: Se refiere al hecho que un sistema vivo a partir de distintas condiciones iniciales y por distintos caminos llega a un mismo estado final. El fin se refiere a la mantención de un estado de equilibrio fluyente. “Puede alcanzarse el mismo estado final, la misma meta, partiendo de diferentes condiciones iniciales y siguiendo distintos itinerarios en los procesos orgánicos” (Bertalanffy, 1976, p. 137). El proceso inverso se denomina multifinalidad, es decir, “condiciones iniciales similares pueden llevar a estados finales diferentes” (Buckley, 1970, p. 98).

EQUILIBRIO: Los estados de equilibrios sistémicos pueden ser alcanzados en los sistemas abiertos por diversos caminos, esto se denomina equifinalidad y multifinalidad. La mantención del equilibrio en sistemas abiertos implica necesariamente la importación de recursos provenientes del ambiente. Estos recursos pueden consistir en flujos energéticos, materiales o informativos.

EMERGENCIA: Este concepto se refiere a que la descomposición de sistemas en unidades menores avanza hasta el límite en el que surge un nuevo nivel de emergencia correspondiente a otro sistema cualitativamente diferente. Edgar Morin (Arnold. 1989) señaló que la emergencia de un sistema indica la posesión de cualidades y atributos que no se sustentan en las partes aisladas y que, por otro lado, los elementos o partes de un sistema actualizan propiedades y cualidades que sólo son posibles en el contexto de un sistema dado. Esto significa que las propiedades inmanentes de los componentes sistémicos no pueden aclarar su emergencia.

ESTRUCTURA: Las interrelaciones más o menos estables entre las partes o componentes de un sistema, que pueden ser verificadas (identificadas) en un momento dado, constituyen la estructura del sistema. Según Buckley (1970) las clases particulares de interrelaciones más o menos estables de los componentes que se verifican en un momento dado constituyen la estructura particular del sistema en ese momento, alcanzando de tal modo una suerte de "totalidad" dotada de cierto grado de continuidad y de limitación. En algunos casos es preferible distinguir entre una estructura primaria (referida a las relaciones internas) y una hiperestructura (referida a las relaciones externas).

FRONTERA: Los sistemas consisten en totalidades y, por lo tanto, son indivisibles como sistemas (sinergia). Poseen partes y componentes (subsistema), pero estos son otras totalidades (emergencia). En algunos sistemas sus fronteras o límites coinciden con discontinuidades estructurales entre estos y sus ambientes, pero corrientemente la demarcación de los límites sistémicos queda en manos de un observador (modelo). En términos operacionales puede decirse que la frontera del sistema es aquella línea que separa al sistema de su entorno y que define lo que le pertenece y lo que queda fuera de él (Johannsen, 1975, p. 66).

FUNCIÓN: Se denomina función al output de un sistema que está dirigido a la mantención del sistema mayor en el que se encuentra inscrito.

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

INFORMACIÓN: La información tiene un comportamiento distinto al de la energía, pues su comunicación no elimina la información del emisor o fuente. En términos formales “la cantidad de información que permanece en el sistema (...) es igual a la información que existe más la que entra, es decir, hay una agregación neta en la entrada y la salida no elimina la información del sistema” (Johannsen, 1975, p. 78). La información es la más importante corriente negentrópica de que disponen los sistemas complejos.

INPUT / OUTPUT (modelo de): Los conceptos de input y output nos aproximan instrumentalmente al problema de las fronteras y límites en sistemas abiertos. Se dice que los sistemas que operan bajo esta modalidad son procesadores de entradas y elaboradores de salidas.

INPUT: Todo sistema abierto requiere de recursos de su ambiente. Se denomina input a la importación de los recursos (energía, materia, información) que se requieren para dar inicio al ciclo de actividades del sistema.

OUTPUT: Se denomina así a las corrientes de salidas de un sistema. Los outputs pueden diferenciarse según su destino en servicios, funciones y retroinputs.

ORGANIZACIÓN: Wiener planteó que la organización debía concebirse como “una interdependencia de las distintas partes organizadas, pero una interdependencia que tiene gra-

dos. Ciertas interdependencias internas deben ser más importantes que otras, lo cual equivale a decir que la interdependencia interna no es completa” (Buckley, 1973, p. 127). Por lo cual la organización sistémica se refiere al patrón de relaciones que definen los estados posibles (variabilidad) para un sistema determinado.

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

MORFOGÉNESIS: Los sistemas complejos (humanos, sociales y culturales) se caracterizan por sus capacidades para elaborar o modificar sus formas con el objeto de conservarse viables (retroalimentación positiva). Se trata de procesos que apuntan al desarrollo, crecimiento o cambio en la forma, estructura y estado del sistema. Ejemplo de ello son los procesos de diferenciación, la especialización, el aprendizaje y otros. En términos cibernéticos, los procesos causales mutuos (circularidad) que aumentan la desviación son denominados morfogenéticos. Estos procesos activan y potencian la posibilidad de adaptación de los sistemas a ambientes en cambio.

MORFOSTASIS: Son los procesos de intercambio con el ambiente que tienden a preservar o mantener una forma, una organización o un estado dado de un sistema (equilibrio, homeostasis, retroalimentación negativa). Procesos de este tipo son característicos de los sistemas vivos. En una perspectiva cibernética, la morfostasis nos remite a los procesos causales mutuos que reducen o controlan las desviaciones.

NEGENTROPÍA: Los sistemas vivos son capaces de conservar estados de organización improbables (entropía). Este fenómeno aparentemente contradictorio se explica porque

los sistemas abiertos pueden importar energía extra para mantener sus estados estables de organización e incluso desarrollar niveles más altos de improbabilidad. La negentropía, entonces, se refiere a la energía que el sistema importa del ambiente para mantener su organización y sobrevivir (Johannsen, 1975).

OBSERVACIÓN (de segundo orden): Se refiere a la nueva cibernética que incorpora como fundamento el problema de la observación de sistemas de observadores. Se pasa de la observación de sistemas a la observación de sistemas de observadores.

RECURSIVIDAD: Proceso que hace referencia a la introducción de los resultados de las operaciones de un sistema en él mismo (retroalimentación).

RELACIÓN: Las relaciones internas y externas de los sistemas han tomado diversas denominaciones. Entre otras: efectos recíprocos, interrelaciones, organización, comunicaciones, flujos, prestaciones, asociaciones, intercambios, interdependencias, coherencias, etcétera. Las relaciones entre los elementos de un sistema y su ambiente son de vital importancia para la comprensión del comportamiento de sistemas vivos. Las relaciones pueden ser recíprocas (circularidad) o unidireccionales. Presentadas en un momento del sistema, las relaciones pueden ser observadas como una red estructurada bajo el esquema input/output.

RETROALIMENTACIÓN: Son los procesos mediante los cuales un sistema abierto recoge información sobre los efectos de sus decisiones internas en el medio, información que actúa sobre las decisiones (acciones) sucesivas. La retroalimentación puede ser negativa (cuando prima el control) o positiva (cuando prima la amplificación de las desviaciones). Mediante los mecanismos de retroalimentación los sistemas regulan sus comportamientos de acuerdo a sus efectos reales y no a programas de outputs fijos. En los sistemas complejos están combinados ambos tipos de corrientes (circularidad, homeostasis).

RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA: Este concepto está asociado a los procesos de autorregulación u homeostáticos. Los sistemas con retroalimentación negativa se caracterizan por la mantención de determinados objetivos. En los sistemas mecánicos los objetivos quedan instalados por un sistema externo (el hombre u otra máquina).

RETROALIMENTACIÓN POSITIVA: Indica una cadena cerrada de relaciones causales en donde la variación de uno de sus componentes se propaga en otros componentes del sistema, reforzando la variación inicial y propiciando un comportamiento sistémico caracterizado por un autorreforzamiento de las variaciones (circularidad, morfogénesis). La retroalimentación positiva está asociada a los fenómenos de crecimiento y diferenciación. Cuando se mantiene un sistema y se modifican sus metas/fines nos encontramos ante un caso de retroalimentación positiva. En estos casos se aplica la relación desviación-amplificación (Mayurama, 1963).

RETROINPUT: Se refiere a las salidas del sistema que van dirigidas al mismo sistema (retroalimentación). En los sistemas humanos y sociales éstos corresponden a los procesos de autorreflexión.

SERVICIO: Son los outputs de un sistema que van a servir de inputs a otros sistemas o subsistemas equivalentes.

SINERGIA: Todo sistema es sinérgico en tanto el examen de sus partes en forma aislada no puede explicar o predecir su comportamiento. La sinergia es, en consecuencia, un fenómeno que surge de las interacciones entre las partes o componentes de un sistema (conglomerado). Este concepto responde al postulado aristotélico que dice que “el todo no es igual a la suma de sus partes”. La totalidad es la conservación del todo en la acción recíproca de las partes componentes (teleología). En términos menos esencialistas, podría señalarse que la sinergia es la propiedad común a todas aquellas cosas que observamos como sistemas.

DINÁMICA DE SISTEMAS: Comprende una metodología para la construcción de modelos de sistemas sociales, que es-

tablece procedimientos y técnicas para el uso de lenguajes formalizados, considerando en esta clase a sistemas socioeconómicos, sociológicos y psicológicos, pudiendo aplicarse también sus técnicas a sistemas ecológicos. Esta tiene los siguientes pasos:

- a) observación del comportamiento de un sistema real,
- b) identificación de los componentes y procesos fundamentales del mismo,
- c) identificación de las estructuras de retroalimentación que permiten explicar su comportamiento,
- d) construcción de un modelo formalizado sobre la base de la cuantificación de los atributos y sus relaciones,
- e) introducción del modelo en un computador y
- f) trabajo del modelo como modelo de simulación (Forrester, 1968).

SISTEMAS ABIERTOS: Se trata de sistemas que importan y procesan elementos (energía, materia, información) de sus ambientes y esta es una característica propia de todos los sistemas vivos. Que un sistema sea abierto significa que establece intercambios permanentes con su ambiente, intercambios que determinan su equilibrio, capacidad reproductiva o continuidad, es decir, su viabilidad (entropía negativa, teleología, morfogénesis, equifinalidad).

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

SISTEMAS CIBERNÉTICOS: Son aquellos que disponen de dispositivos internos de autocomando (autorregulación) que reaccionan ante informaciones de cambios en el ambiente, elaborando respuestas variables que contribuyen al cumplimiento de los fines instalados en el sistema (retroalimentación, homeorrosis).

SISTEMAS TRIVIALES: Son sistemas con comportamientos altamente predecibles. Responden con un mismo output cuando reciben el input correspondiente, es decir, no modifican su comportamiento con la experiencia.

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

TELEOLOGÍA: Este concepto expresa un modo de explicación basado en causas finales. Aristóteles y los Escolásticos son considerados como teleológicos en oposición a las causalistas o mecanicistas.

VARIABILIDAD: Indica el máximo de relaciones, hipotéticamente, posibles.

VARIEDAD: Comprende el número de elementos discretos en un sistema ($v =$ cantidad de elementos).

VIABILIDAD: Indica una medida de la capacidad de sobrevivencia y adaptación (morfostásis, morfogénesis) de un sistema a un medio en cambio.

La Teoría General de Sistemas presentó la estructura básica para explorar este provocador paradigma de conocimiento científico, por lo tanto, es esencial conocer sus aportaciones para poder intercalar una correcta estructura de conceptos en diferentes ámbitos del conocimiento multidisciplinar. El abandono de estos conocimientos podría llevar a un sesgo importante en la descripción de modelos o en la construcción de aparatos teóricos que intenten establecer comentarios en esta temática. Hasta aquí los comentarios básicos sobre la Teoría General de Sistemas.

Cibernética

*Cada relato era largo y detallado como una miniatura.
Escuchándola, me quedé admirado de su portentosa memoria.
De pronto, empezó a llamarme la atención algo en su manera de hablar.*

*Algo extraño, poco natural, forzado.
Cada uno de los episodios era, en sí mismo, creíble y lógico, pero me sorprendió la manera de ligarlos.
En un momento determinado, la historia A derivaba hacia la historia B, que ya estaba contenida en la historia A; poco después, pasaba de la historia B a la historia C, implícita en la anterior, y así de manera indefinida. Sin un final previsible.*

*Al principio asentía, pero pronto dejó de hacerlo.
Puse un disco y, cuando éste acabó, levanté la aguja y pinché otro.*
Haruki Murakami

El profesor austriaco Bertalanffy generó los primeros postulados sobre una teoría de sistemas, casi a la par el norteamericano Norbert Wiener (1961) acuñó el concepto de cibernética, la cual se puede definir como el estudio científico del control y comunicación de animales y máquinas. También cabe desatacar la definición de Stafford Beer (1972): la cibernética estudia los flujos de información que rodean un sistema, y la forma en que esta información es usada por el sistema como un valor que le permite controlarse a sí mismo, ocurre tanto para sistemas animados como inanimados, indiferentemente. En cibernética se empezaron a describir con los mismos conceptos distintos objetos encontrándose analogías, por ejemplo, en fenómenos tan distintos como un cerebro, un circuito electrónico, una ciudad o una colonia de hormigas. La cibernética propuso que tanto un sistema artificial como biológico podrían compartir similitudes desde las perturbaciones que le provocaría su relación con la información del entorno. En mediano plazo esto formaría las bases de lo que hoy reconocemos como inteligencia artificial y control de sistemas.

La revolución cibernética fue una ardua y rápida evolución del conocimiento sobre la información y su comportamiento por medio de las interacciones en los componentes de un sistema. El mexicano Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener y Julian Bigelow y fueron pensadores líderes en esta área, en sociedad estos investigadores publican en 1943 el artículo “Behavior, Purpose and Teleology” (Comportamiento, propósito y teleología) en *Philosophy of Science* (1943, p. 18-24) un destacado documento científico sobre la formulación matemática de problemas de transmisión de impulsos de información en redes en objetos excitables, problemática que fue enfocada principalmente a lo fisiológico. A este documento se le considera como “El certificado de nacimiento de la cibernética” (de Latil, 1953). La temática de este artículo científico es una propuesta de clasificación sobre los tipos de comportamientos, en especial referencia al concepto del propósito. Estos autores definen al comportamiento como: *cualquier cambio de una entidad respecto a lo que la rodea*, por lo tanto, entendiendo, que cualquier modificación de un elemento detectable externamente puede ser denotada como comportamiento. El comportamiento sobre cualquier elemento será el estudio de su salida u output de información hacia el entorno y la relación entre este output hacia el input o entrada de información desde el sistema hacia el elemento. Los autores crean un enfoque de contraste hacia la visión fundamental de la ciencia convencional mecanicista, en el cual son estudiados principalmente la estructura, propiedades, y organización específica del elemento, pero se centrarían desde la cibernética en dar una mayor relevancia a las cualidades y características de las relaciones entre el objeto y su entorno.

En relación a la clasificación del comportamiento que se expresa desde este enfoque primordial de la cibernética, la primera clasificación es en comportamiento *activo*, en la que el objeto mismo es el origen de la energía que se manifiesta en la salida hacia el entorno, y comportamiento *no-activo*, en el que toda la energía en la salida proviene de la entrada inme-

diata, o donde el elemento controla la energía que permanece externa a él. Rosenblueth, Wiener y Bigelow (1943) dividirían posteriormente, el comportamiento activo en *un propósito* o *dirigido a un objetivo* y en *sin-propósito* o *aleatorio*. Por tanto, describen a una máquina como con un *propósito*, sólo si tiene alguna condicionante específica final, hacia la cual es dirigida la actividad. Ejemplo contemporáneo de esto podría ser la efectividad que tienen algunos drones con servomecanismo³ determinados para encausarle a buscar objetivo y evitar obstáculos o algunos dispositivos determinados para proceder el funcionamiento en partes de un edificio inteligente. También reconocieron que algunas máquinas, como por ejemplo la rueda de una ruleta, son diseñadas para ser *sin objetivo*, representando un diseño sin propósito /aleatorio.

El comportamiento con objetivo es entonces clasificado como *retroalimentación* o *teleológico* y *sin-retroalimentación* o *no teleológico*. Los sistemas de retroalimentación son aquellos en los cuales la entrada es alterada por la salida, en la dirección necesaria para reducir la discrepancia entre la situación actual conseguida y la situación que se busca como objetivo, de esta manera algunas máquinas involucran una retroalimentación permanente del error. Estos conceptos originaron las primeras comparaciones entre las acciones que lleva a cabo el sistema nervioso en la actividad voluntaria en relación a un sistema de retroalimentación con error controlado.

Tal comportamiento de retroalimentación puede ser dividido posteriormente en *extrapolado* o *pronosticado* y *no extrapolado* o *no pronosticado*. En el comportamiento extrapolado la ruta del objetivo es pronosticada y el objetivo es tomado hacia una su posición futura más probable. Tal pronóstico puede ser de primer, segundo o alto orden. El problema original planteado en el artículo, es en el cual una bala antiaérea es disparada hacia un avión y requiere un pronóstico de segundo orden por-

³ Dispositivo de mando y regulación que corrige automáticamente el valor de una variable para que se mantenga el valor deseado.

que ambos, el avión y la bala deben ser pronosticadas. El ser humano gestiona en sus actividades diarias el uso de un alto nivel de órdenes de predicción, esto lo distingue desde una comparación con otros entes biológicos.

Rosenblueth, Wiener y Bigelow (1943, p.24) complementan su conjunto de ideas sobre la cibernética, describiendo que: “Amplia clase de comportamientos son iguales en las máquinas y en los seres vivos. Mientras que el análisis del comportamiento de las máquinas y los organismos vivos es ampliamente uniforme, su estudio funcional revela profundas diferencias”. Por un lado, nace la idea de entender que desde una visión apegada a los comportamientos, tanto las máquinas como los seres biológicos podrían ser estudiados a la par, también se revela que desde los estudios de sus funciones estos distendían mucho de una igualdad, procede entonces que desde el estudio de lo biológico se podrían extraer nuevos conocimientos para ser utilizados en una nueva forma de inteligencia artificial aplicable en máquinas. Acotando que, siempre el diseño de artefactos había recurrido a la ampliación o a la imitación de los fenómenos de la naturaleza, pero, nunca se había entendido lo biológico con la profundidad correlacionar de lo sistémico y complejo. Por lo tanto, a mayor profundidad en el entendimiento de la naturaleza se proyecta mayor avance en lo artificial. El mecanicismo hizo lo suyo y encontró suficiente profundidad en su estudio y descripción de la naturaleza hasta mostrar un importante avance en la sociedad, pero en su afán mecanicista se encontraría con fenómenos inexplicables bajo sus lineamientos, así esto hizo tierra fértil para el desarrollo de nuevas posturas de conocimiento llamado cibernética.

Desde el enfoque de la cibernética se empezaron a describir distintos fenómenos, encontrándose analogías entre ellos, por ejemplo, se revisaron sistemas tan distintos como un cerebro, un circuito electrónico, una ciudad o una colonia de hormigas. La cibernética influyó el pensamiento de neurólogos, psi-

cólogos, sociólogos y filósofos de la época, con sus ideas cibernéticas de la retroalimentación.

Podemos también acotar que, a la distancia y a partir de sus estudios, estos investigadores sentaron los fundamentos para debatir sobre comunicaciones en redes y sus características de interrelación. Actualmente desde esta plataforma de ideas es que podemos hablar de redes sociales, de inteligencia artificial, robótica avanzada y de otros tipos de comunicaciones virtuales que están centradas en las interacciones de sus elementos de naturaleza altamente excitables desde el entorno.

Para Toulmin (1964), Wiener rompió con el tabú que dirigió el desarrollo de la ciencia por doscientos años, de manera que daba por hecho que los procesos mentales son no sólo conceptualmente, sino absolutamente, diferentes de los procesos mecánicos. Wiener abrió la posibilidad de encontrar un único marco conceptual cuyas implicaciones fueran posibles de representar de una misma manera, tanto para el funcionamiento del cerebro como para el de un artefacto.

Desde la cibernética, el estudio de sistemas tan diversos fue posible gracias a su naturaleza semejante de crear interacciones entre sus elementos bajo ciertos patrones de actuar constante y que por coincidencia esto provoca nuevas condiciones emergentes del sistema que en ninguna situación corresponderían sólo a la sumatoria lineal de sus de sus partes. A su vez, las interacciones estrechas y constantes entre los elementos del sistema crearían subsistemas que hacen de la totalidad una organización coherente con identidad y autonomía propias. Desde la cibernética se ha mostrado cómo esta autonomía, identidad y coherencia pueden mantenerse a través de acciones orientadas por metas y aparentemente inteligentes que emergen desde el propio sistema (Ashby, 1964; Heylighen y Joslyn, 2001). Uno de los principios que sustenta lo anterior es descrito por Ashby (1964) en la ley de la variedad requerida: donde ciertos tipos de emparejamientos circulares entre sistemas pueden originar un lazo de retroalimentación (*feedback*

loop) negativa, el cual elimina las desviaciones desde un estado de equilibrio. Esto significa que el sistema compensará activamente las perturbaciones originadas en su ambiente para mantener o alcanzar su estado preferido, logrando así la propia coherencia, autonomía e identidad. Entre mayor sea la diversidad de variaciones con las que el sistema tenga que lidiar, mayor será la diversidad de acciones compensatorias que deberá ser capaz de desempeñar y mayor será el conocimiento o la inteligencia que el sistema necesitará para saber qué acción realizar en qué circunstancias. Esta visión de la ciencia ha demostrado cómo tal inteligencia emergente desde el sistema puede ser alcanzada a través de una red adaptativa de relaciones que transforman las entradas sensoriales en decisiones sobre acciones (salidas). Por consiguiente, esta perspectiva ha desechado la desavenencia cartesiana entre mente y materia: ambos son meramente tipos particulares de relaciones (Heylighen F., Cilliers P., Gershenson C., 2007, p. 122).

Sin embargo, esta perspectiva desde la cibernética sobre la complejidad entraña una nueva visión de la epistemología. De acuerdo con la cibernética, el conocimiento es intrínsecamente subjetivo, es meramente una herramienta imperfecta usada por un agente inteligente para ayudarlo a lograr sus metas personales (Heylighen y Joslyn, 2001; Maturana y Varela, 1992). Este agente no sólo no necesita una reflexión objetiva de la realidad, sino que no puede lograrla. En efecto, el agente no tiene acceso a ninguna “realidad externa”, sólo puede sentir o tener sensibilidad a sus entradas, notar sus salidas (acciones) y desde las correlaciones entre ellas inducir ciertas reglas o regularidades que parecen mantenerlo coherentemente dentro de su ambiente. Diferentes agentes, que experimentaran diferentes entradas y salidas, inducirán en general distintas correlaciones, por lo tanto, desarrollarán un conocimiento distinto del ambiente en el que viven. No hay una manera objetiva de determinar cuál visión es correcta y cuál no, ya que los agentes viven efectivamente en diferentes ambientes (*Umwelts*) aunque se podría encontrar que algunas de las regu-

laridades que infieren parecen ser similares (Heylighen F, Cilliers P, Gershenson C, 2007, p. 123).

Esta particular perspectiva rompía de forma substancial con la visión lineal de la ciencia convencional, este enfoque desechaba los posicionamientos homogéneos, lineales y de lógica general que pudieran ser predecibles y descritos como un fenómeno inmutable. Esta nueva perspectiva podría emplear para cualquier fenómeno que pudiera presentar la lógica de un sistema que propiciará complejidad en las interacciones de sus múltiples elementos y que contará con propiedades emergentes más allá de la sumatoria de sus partes.

Estos enfoques acabaron por transformar la teoría de sistemas y la cibernética, desembocando en la llamada *cibernética de segundo orden* (*second-order cybernetics*) (Forester, 1979; Heylighen y Joslyn, 2001). La idea principal de este postulado es que nosotros a partir de nuestras observaciones, también somos sistemas cibernéticos. Esto significa que nuestro conocimiento es una construcción subjetiva, no una reflexión objetiva de la realidad. Por lo tanto, el énfasis debe trasladarse de los sistemas aparentemente objetivos que nos rodean a los procesos cognitivos y sociales mediante los cuales construimos nuestros modelos subjetivos de dichos sistemas. Esto constituye un rompimiento capital con la teoría de sistemas tradicional, la cual asumía implícitamente que hay una estructura u organización objetiva en los sistemas que investigamos (Bunge, 1979). Este concepto de ruptura implicó una evolución en el entramado de la teoría de sistemas, además de que esto fue apoyado también por la explicación de los conceptos de autonomía, autopoiesis (Maturarna y Varela, 1979) y auto-organización, ideas que fueron introducidas para caracterizar a los sistemas vivientes y naturales en contraste con los sistemas artificiales y de ingeniería. Esto implica que la estructura de un sistema no está dada, sino que es desarrollada por el sistema mismo, como un medio de sobrevivencia y adaptación a un ambiente complejo y cambiante.

La ruptura con la antigua teoría de sistemas se volvió aún más grande cuando se hizo claro que muchos sistemas, en particular los sistemas sociales, no tienen ninguna estructura, función u organización clara, sino que consisten de un entramado de subsistemas parcialmente competentes, parcialmente cooperativos o que se limitan a ignorarse mutuamente. Para Heylighen (2006) por ejemplo, donde la vieja generación de pensadores de sistemas, veía a la sociedad como un sistema estable semejante a un organismo, en el que los distintos subsistemas tenían funciones claramente definidas que contribuían al bien común, la nueva generación de científicos sociales distinguió una anarquía de fuerzas en conflicto con diferentes asociaciones y subculturas emergiendo y desapareciendo de nuevo. En tales sistemas hay muchas relaciones que atraviesan capas aparentemente jerárquicas, de modo que un sistema que está subordinado a otro sistema en un aspecto, aparece superior en otro aspecto, a esto también se le puede considerar una especie de heterarquía. Puntualizando sobre el concepto de heterarquía, esto disuelve las jerarquías, bajo estas circunstancias no hay poder exactamente definido y absoluto, por lo tanto, se cambia el concepto de mandar, por el de influir, todos los elementos pueden influir en cualquiera de los otros elementos del sistema en concordancia a sus interacciones, no existe un líder o marcapasos que concentre todo el poder y no pueda ser influenciado. Desde este concepto, en lugar de mando se habla de los diferentes valores en las interacciones.

Cibernética de segundo orden.

Treinta años después de la aparición formal de la cibernética surge una nueva renovación de ideas llamada cibernética de segundo orden. Si la primera etapa observó y conceptualizó el orden basado en los estímulos y el entorno, la segunda etapa observó detenidamente que el observador que observa a los sistemas también es en sí mismo un sistema y tiene influencia

directa sobre el estimado de realidad que forma el entorno, el sistema y su propia presencia.

La cibernética de segundo orden crea una dimensión distinta, pero integradora, este dimensionamiento incorpora al observador de segundo orden, valora la subjetividad que aporta el observador en su propia descripción de la realidad que se posiciona frente a él, esto es el principal valor de estudio en esta etapa. El término como tal es acuñado a principios de la década de los setentas por Heinz Von Foerster quien definió a la cibernética del primer orden como la cibernética de los sistemas observados, mientras que refirió a la de segundo orden como la cibernética de los sistemas que observan. Por medio de la introducción del uso de modelos como estrategia cognitiva científica legítima, la cibernética introduce la observación como acción cognitiva. (Aguado J. M., en Marcuello, 2006). Cuando se analiza un problema o se intenta modelar un sistema, en primer lugar, se intentará realizar la descripción del mismo, intentando ser conscientes de las propias dinámicas que se presentan en el sistema, conocer cómo se comporta dicho sistema cibernético. Ante esta práctica de describir aparece la subjetividad interpuesta por el observador.

Todos los observadores instalados en la observación un mismo sistema nunca podrán observar lo mismo. Cada observador cuenta con su propia y única *subjetividad*, conformada por sus particulares experiencias. Subsecuentemente cada observador cuenta con un cúmulo de propios intereses que lo hacen perseguir distintos objetivos, estos son productos de una particular comprensión de la tarea que le ha sido asignada, lo que lo hará buscar en sentidos únicos y diferentes. Cada observador desarrolla estrategias cognitivas particulares para elaborar un modelo del sistema observado. Indudablemente los modelos conformados incluirán aspectos relevantes y únicos para tomar la idea de su conformación y comportamiento, dejando de lado los elementos que considere accesorios y que sólo agregan datos dificultando la captación de la realidad.

Decía Von Foester “Todo lo dicho es dicho por un observador” y “el entorno no contiene información; es como es” (Scott B. en Marcuello, 2006, p. 138). Desde estos postulados podríamos dar como aproximación, que resultaría imposible que nuestra respuesta frente a los sistemas sean consideradas observaciones directas de una realidad dada, sino que serían construcciones basadas en nuestras observaciones.

Todos estos conocimientos innovadores y aportados desde la cibernética originaron la necesidad de una nueva visión de los sistemas complejos, evolucionando los antiguos paradigmas sobre la complejidad y los sistemas.

La cibernética en su amplio e innovador conocimiento aportó principalmente en sus inicios la homologación de los procesos de información y control en seres biológicos, en el hombre y en máquinas más complejas, así como en los sistemas de control automático, las computadoras y las redes neuronales artificiales. A pesar de los trabajos grandes esfuerzos mencionados, estas ideas siguieron siendo en gran parte un cúmulo de especulaciones teóricas. Esto cambió para mediados del siglo XX los niveles de cómputo en las máquinas era sobresaliente y adecuado para poder iniciar la programación de algunos de estos procesos de información y control propuestos por la cibernética.

Inteligencia Artificial

A partir de los grandes avances computacionales, en poco tiempo los postulados de la cibernética, fueron consecuentes con el nacimiento de la llamada *Inteligencia Artificial*. Disciplina que tiene por objeto la solución de problemas complejos, mediante la computarización de los procesos requeridos por la mente humana para captar y clasificar información, identificar estructuras y patrones en lo percibido, captar significados, definir sistemas, plantear problemas, buscar soluciones, planear su implantación y hacer el control, seguimiento y adaptación

de dichas soluciones a través del tiempo (Lara Rosano, 2002, p. 3).

La idea de una máquina pensante no es nueva en el imaginario de la humanidad. Ramón Llull, místico, teólogo, filósofo y científico Mallorquín de la época medieval, expresó en su *Ars Magna* (1315) la idea de que el razonamiento podría implementarse de manera artificial en una máquina. Llull llegó a plantear una máquina que se apoyaba en la definición de una serie de ideas simples, llamadas raíces, que se catalogaban en 54 tipos, una tercera parte de estos conceptos vinculadas a la doctrina católica. Combinando estas ideas raíces, según su teoría, se podría obtener el conocimiento científico, es decir, combinando sujetos, predicados y teorías teológicas mediante la operación de unas palancas y ruedas, las proposiciones y teorías se movían mediante unas guías para llegar a conclusiones. La máquina tenía una base mecánica y se organizaban los sujetos, predicados y teorías teológicas mediante la formación de figuras geométricas consideradas perfectas (círculos, cuadrados y triángulos) usando palancas y manivelas. Con esas raíces y las combinaciones que se podían realizar, Llull postuló que era posible comprobar cualquier teoría y llegar a la conclusión de que era cierta o, por el contrario, era errónea. Entre raíces y combinaciones, se podían llegar a conclusiones teológicas como “la bondad es grande” o “el poder es eterno”, aspectos que ocupaban a Llull. Aunque el *Ars Magna* era un autómatas muy rudimentario, considerado un autómatas finito, aun así se supone como uno de los primeros intentos de utilización de medios lógicos para producir conocimiento y aunque era una teoría que no podía ir más allá de “los estados que se habían programado”, fue una curiosa primera implementación de sistemas relacionados con la inteligencia artificial, por tanto, de la búsqueda que una máquina fuese capaz de aprender y pensar (o demostrar dogmas de fe) (Velasco, 2014).

En épocas más recientes y paralelas a los nuevos paradigmas científicos, Alan Turing presenta en 1936 su artículo “Sobre los números computables con aplicación al problema de la decidibilidad (traducción de *Entscheidungsproblem*, también podría resultar favorable traducir como problema de decisión)”, en este trabajo explora la idea que una máquina puede imitar a cualquier otra máquina, principio de lo que se denomina “Máquina de Turing”. En este modelo matemático, un dispositivo que se comporta como un autómata finito y que dispone de una cinta de longitud infinita en la que se puede leer, escribir o borrar símbolos presupone que podría imitar el comportamiento de cualquier otra máquina a partir de codificar sus procesos por analogías en ceros y unos. Por lo tanto, uno de los teoremas más importantes sobre las máquinas de Turing es que pueden simular el comportamiento de una computadora, si un problema no puede ser resuelto por una de estas máquinas, entonces tampoco puede ser resuelto por una computadora. Esto representó una comprobación de diferentes procesos sistémicos y cibernéticos pero que en realidad no tuvieron una correlación inmediata, al menos conceptual y teóricamente.

Más tarde Alan Turing se aventuró a manifestarse acerca de cuándo podría decirse que se habían construido máquinas que, efectivamente, pensaban. En 1950 publicó un artículo en la revista de filosofía *Mind*, titulado “Maquinaria de computación e inteligencia”, en el que escribió: “Creo que aproximadamente en los próximos cincuenta años será posible programar computadoras para que puedan desarrollar el juego de imitación tan bien que un interrogador medio no tendrá más del 70% de probabilidades de realizar la identificación correcta después de 5 minutos de preguntas. Sobre la cuestión inicial, ‘¿Pueden pensar las máquinas?’, creo que no posee el suficiente sentido como para que merezca discutirse. Sin embargo, pienso que al final del siglo el uso de palabras y de opiniones razonadas de tipo general se habrá modificado tanto que uno podrá hablar de máquinas que piensan sin esperar

que le contradigan” (Turing, 1950, p. 8). Resulta interesante observar que el test de Turing fue la prueba vigente durante muchos años de investigación en el campo de la inteligencia artificial, pero en las últimas décadas los avances han hecho que esta prueba se ponga en discusión, ya que actualmente existen máquinas que han logrado superar el test de Turing, sin embargo, no se les puede considerar inteligentes. Es el caso de las inteligencias artificiales que son capaces de ganar partidas de ajedrez o damas, sin que el oponente humano sepa que juega contra una máquina. Esas máquinas están diseñadas y programadas para una función concreta, ganar el juego, pero es evidente que no poseen una inteligencia propia, al menos no como la entendemos los humanos. El funcionamiento de las computadoras actuales y sus grandes alcances en la inteligencia se siguen basando en los modelos de las máquinas de Turing, a quien se le considera un precursor en estos aportes científicos que aplican sobresalientemente pensamiento basados en la lógica de la complejidad y lo sistemático.

Adverso a la propuesta de Turing, John Searle planteó un experimento mental en 1980, llamado “La habitación china”. Este experimento sigue la línea del test de Turing, pero las conclusiones que se extraen son más complejas, aunque también abiertas a debate. El experimento de “La habitación china” consiste en postular un cuarto cerrado en el que dentro se encuentra una persona que no habla chino y fuera se encuentra un hablante nativo de chino. El nativo puede comunicarse con la persona del interior de la habitación pasándole notas escritas en chino por debajo de la puerta. Para poder responder, el humano de la habitación dispone de toda clase de manuales, diccionarios y obras de referencia de chino, que puede entender porque están en su propia lengua. De esta manera, el encerrado descifra el mensaje que le llega con la ayuda de los libros e intenta componer una respuesta lógica, traduciéndola al chino de nuevo para que el nativo la comprenda al pasarla de nuevo al exterior. La comunicación se realiza satisfactoriamente, puede que, con algún error de mag-

nitud variable, pero se lleva a cabo. Revisada esta situación, Searle plantea varias preguntas:

¿Habla chino la persona encerrada en la habitación? ¿Si es evidente que no habla chino, ¿cómo puede responder a las preguntas del nativo? ¿Son los libros, manuales y diccionarios los que hablan chino? ¿Podemos considerar el conjunto encerrado + nativo + habitación + libros como un sistema que entiende el chino?

La conclusión que Searle extrae de su experimento es que tanto las máquinas como los humanos son capaces de comprender la sintaxis. Por eso ambos pueden pasar el test de Turing y comunicarse en chino desde el interior de la habitación. La diferencia residiría en la semántica, en el significado de las diferentes palabras. Es decir, una máquina puede comprender las partes de un texto, la formación de las palabras y la categoría gramatical de cada una, pero no conoce sus significados, de la misma manera que no se puede decir que la persona en el interior de la habitación hable chino.

En la situación de la habitación china está el Traductor de *Google* o cualquiera de los programas que existen actualmente, capaces de generar un texto de forma automática. El traductor o redactor automático sólo es capaz de interpretar un programa que le ha sido proporcionado previamente. Es decir, sólo puede consultar los libros que se encuentran dentro de su habitación. Aún en el caso que la máquina sea capaz de cierto grado de aprendizaje y de superar los límites del programa inicial, de momento no es capaz de comprender matices sutiles de un sistema tan complejo como es el lenguaje humano. Ni siquiera todos los humanos seríamos capaces de entender el sarcasmo o las metáforas más complejas, o de diferencias entre palabras con significado muy similar y a la vez abstracto, como podrían ser “honradez, honestidad y sinceridad”.

Al igual que una persona enclaustrada en una habitación con un montón de libros no se le puede considerar necesaria-

mente un traductor, una máquina capaz de almacenar y analizar todas las palabras existentes en una lengua y ordenarlas acorde a la sintaxis de dicha lengua no es un escritor.

Para el impulso de la inteligencia artificial se necesitó la comprensión y el desarrollo práctico de todo el conjunto de perspectivas que desarrollo la cibernética con base al pensamiento de la complejidad.

Turing nunca estableció un postulado, nombre oficial o distintivo para su nueva especialización del conocimiento, así que para muchos autores el nacimiento "oficial" de la Inteligencia Artificial se sitúa en el verano de 1956, atribuyéndolo principalmente a John McCarty, quien expuso el nombre de esta área del conocimiento en el Dartmouth College en Hanover, New Hampshire. La conferencia fue financiada por la Fundación Rockefeller y se llamó *Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*. Estas conferencias reunieron a un grupo de jóvenes especialistas en lógica y matemática entre los que estaban John, Samuel, Minsky y Selfridge junto con Newell, Shaw y Simon, se reunieron para debatir la posibilidad de producir programas de computadora capaces de "comportarse" o de "pensar" inteligentemente. Mucho del trabajo temprano en este campo se enfocó en el estudio de tareas formales como el probar teoremas matemáticos, jugar ajedrez y otros juegos bien estructurados. Uno de los primeros logros fue un programa llamado el Teórico Lógico (TL) creado por Allen Newell y Herbert Simon que era capaz de probar por sí mismo teoremas de lógica simbólica.

Asimismo, en este año, Von Neumann (1956) y Culbertson (1956) elaboraron modelos matemáticos de neuronas y redes neuronales y Rochester, Holland, Haibt y Duda (1956), combinaron los resultados obtenidos por matemáticos, biólogos y psicólogos, se desarrollaron modelos de simulación en computadora de neuronas y redes neuronales, dando lugar a la forma actualmente más generalizada de trabajar con estos sistemas, su simulación mediante software, en una compu-

tadora digital común. Estas primeras simulaciones representarían en gran medida las comprobaciones que eran necesarias por todo el aparato teórico de la cibernética de primer y segundo orden.

A partir de éste momento se crean los dos enfoques de la inteligencia artificial: el estructural y el funcional. El primero pretende emular la complejidad del cerebro humano, incluyendo su estructura física. Este enfoque supone que el comportamiento animal y, por lo tanto, el humano, se rige por medio de estructuras neuronales similares, por lo que trata de conocerlas para poder simular cada actividad. El segundo enfoque busca crear sistemas que tengan un comportamiento similar al de una persona considerada inteligente. Este no trata de reproducir la estructura física del cerebro sino sus funciones. En ambos casos son recurrentes los postulados de complejidad, control, recursividad, información, perturbación y homeóstasis. Con la inteligencia artificial llega la consolidación y la manipulación práctica de los conceptos sistémicos de una primera generación que tuvo alcances teóricos principalmente.

Sistemas complejos adaptativos

—*¿Qué deben de hacer las hormigas los días de lluvia?*—preguntó
Midori.

—*No lo sé*—dijo—. *Tal vez hagan la limpieza del hormiguero u ordenen la despensa. Porque las hormigas son muy trabajadoras.*

—*Si lo son tanto, ¿por qué no han evolucionado y se han quedado tal como estaban?*

—*Tal vez su estructura corporal no sea apta para la evolución. En comparación con los monos, por ejemplo.*

Haruki Murakami

En la década de los ochentas emergería un nuevo enfoque a la complejidad, que es etiquetado usualmente como sistemas complejos adaptativos (Holland, 1996) o, más generalmente, ciencia de la complejidad (Waldrop, 1992). Aunque sus orígenes son muy independientes de los de la ciencia de sistemas y la cibernética, la ciencia de la complejidad ofrece la promesa de extender e integrar las nuevas ideas dentro de un marco de corte reduccionista, que permita una mayor certeza sobre los métodos y aplicaciones posibles. Se intenta desarrollar una alternativa radical, aunque funcional, del paradigma newtoniano.

Una nota importante a mencionar es que en muchas de las investigaciones o proyectos que se intentan crear bajo una dinámica apegada a la complejidad o lo sistémico, se confunden comúnmente las definiciones u objetivos y sus alcances. Por ejemplo, si el investigador en turno menciona una lógica de perspectivas basadas en sistemas complejos adaptativos, tendría que afinar sus herramientas para perseguir fines últimos de corte reduccionistas, que efectivamente resultarían del uso de un aparato teórico o metodológico de complejidad. El que investiga en algún momento tendrán que cerrar la observación de lo complejo para intentar delimitar un análisis preciso y con intenciones utilitarias de certeza sobre un problema determinado, abandonando las dinámicas relacionales de algu-

nos otros contextos del mismo problema. Los sistemas complejos adaptativos son una revolución aportada al propio reduccionismo, pero sin dejar de atender la certeza aparente sobre la realidad que intenta aportar este pensamiento.

Como primer punto para entender las ideas de esta corriente definida como sistemas complejos adaptativos, comprendamos el entendido de “*complejo o complejidad*”, palabra que procede del latín *Plexus*, que significa entretrejado, algo será entretrejado si es difícil de separar. Esta idea de un pensamiento complejo o entretrejado aparece en múltiples filosofías orientales, quienes consideran primordial el entendimiento de las interacciones de los distintos seres que coexisten dentro de un entorno y que no podrían estudiarse estos desde una manera aislada.

Las raíces del movimiento son diversas, incluyendo la dinámica no lineal, la mecánica estadística y la ciencia computacional, que permitió la simulación de sistemas demasiado grandes o demasiado complejos como para ser modelados matemáticamente, la biología evolutiva, que explica la aparición de formas complejas a través de mecanismos intrínsecamente impredecibles de variación ciega y selección natural. Dichas aplicaciones generaron métodos para describir sistemas sociales en un sentido amplio, tales como la bolsa de valores, simulación de ciudades, el internet o las sociedades de hormigas, donde no hay un orden predefinido, aunque hay estructuras emergentes que se pueden estudiar.

Para Cilliers (1998), dados estos antecedentes científicos, la mayor parte de los investigadores de esta etapa de la complejidad no han reflexionado aún sobre los fundamentos filosóficos de su aproximación, a diferencia de los investigadores de sistemas y cibernética. La cuestión filosófica y conceptual de este apartado de la complejidad es poco y se apega principalmente a la estructuración de elementos científicos que permitan interacciones y determinaciones para el estudio de sistemas caóticos, teniendo como gran objetivo las prospectivas

que puedan resultar de interés para el modelo pertinente. Para Heylighen, Cilliers y Gershenson (2007), muchos de los científicos en este ámbito se adhieren todavía a ideas fundamentadas en el pensamiento newtoniano, esperando como en el esquema reduccionista, descubrir leyes exactas sobre la complejidad matemáticamente formuladas y que resulten de alguna manera para dar orden y determinismo a la incertidumbre de los sistemas que están tratando de entender.

La complejidad de mediados del siglo XX resaltaba las posibilidades existentes en la incertidumbre de las dinámicas relacionales que se dan dentro de un fenómeno y que dependen de las cualidades de la observación, sin embargo, los sistemas de Holland buscan la exactitud por medio de reconocimiento en los patrones dentro de un fenómeno y así poder determinar escenario, evento o perturbación en el sistema. Esto ha provocado que sea muy recurrente el uso de esta visión para aplicar lógicas de la complejidad a fenómenos o modelos.

Por consiguiente, el término de sistema complejo adaptativo definido por Holland (1996), creó una herramienta conceptual importante que fue introducida rápidamente a la ciencia de la complejidad y al aparato científico en general.

Actualmente, debido a la naturaleza de su estructura definitiva al sistema complejo adaptativo también se le domina como sistema de agentes múltiples, puesto que los componentes básicos de un sistema adaptativo complejo son llamados agentes. Estos múltiples elementos son concebidos típicamente como sistemas de “caja negra”, lo que significa que conocemos las reglas que gobiernan su conducta individual, pero no nos importa su estructura interna. Intuitivamente, los agentes pueden ser concebidos como individuos autónomos que tratan de lograr alguna meta o valor personal, utilidad o conveniencia, actuando sobre su ambiente, el cual incluye a otros agentes, un agente no necesita exhibir inteligencia o alguna cualidad mental específica, ya que los agentes pueden representar sistemas tan diversos como gente, hormigas, células o

moléculas. En este aspecto, la ciencia de la complejidad ha asimilado las lecciones de la cibernética, rehusándose a trazar cualquier frontera *a priori* entre mente y materia Heylighen, Cilliers y Gershenson (2007, p. 125).

Los postulados de Holland instan a que los múltiples agentes de un sistema son ignorantes de los posibles efectos que sus acciones puedan generar, desconocen en realidad su ambiente, estos múltiples elementos alcanzarían sus metas fundamentalmente por medio de prueba y error, esto sería equivalente a la variación ciega seguida de la selección natural de los agentes, se realizarían entonces acciones o reglas que logren un mejor ajuste ante el entorno. Los agentes son básicamente egocéntricos o egoístas: sólo se preocupan por sus propios fines, ignorando inicialmente a otros agentes. Sólo en una etapa posterior podrían llegar a conocer a sus vecinos lo suficiente para desarrollar alguna forma de cooperación (Axelrod, 1984). Pero, para Heylighen, Cilliers y Gershenson (2007, p. 127) incluso cuando los agentes son lo suficientemente capaces de conocer e inteligentes como para seleccionar acciones aparentemente racionales o cooperativas, ellos, como nosotros, son intrínsecamente ignorantes sobre los efectos remotos de sus acciones. Lo anterior se postula bajo el principio de localidad. Este postulado sobre “lo local” se menciona en la mecánica convencional bajo la lógica de que los agentes sólo interactúan con un pequeño número de otros agentes que forman su comunidad local. Pero a partir de la mecánica relativista y la teoría de la complejidad se empieza a suponer que, aunque las interacciones sean locales, están también tendrían repercusiones a largo plazo y en una escala global, afectando al sistema en su totalidad. Tales efectos globales son por definición inesperados al nivel del agente y son en ese sentido emergentes, no podrían haber sido inferidos de las reglas o propiedades locales que determinan el comportamiento del agente. Para los observadores externos, tales propiedades emergentes no son necesariamente sorprendidas: si las interacciones entre los agentes son lo suficientemente regulares u

homogéneas, como en las interacciones entre moléculas en un cristal o un gas, podríamos ser capaces de predecir la configuración global (emergente) resultante. Pero, en los casos más generales, es imposible realizar extrapolaciones del nivel local al global.

Para los últimos años del siglo veinte e inicios de este nuevo siglo, el principio de localidad se ha trastocado ampliamente, desde la visión de la mecánica cuántica se postula radicalmente que las interacciones entre elementos de un sistema no necesariamente están vinculadas simplemente a su localidad inmediata, se estima que también se pueden manifestar interacciones por la extraña vinculación entre elementos por el solo hecho de compartir cualidades y características relativamente idénticas aún y que se mantengan a distancias fuera de su localidad inmediata. Se han logrado procesos extraordinarios desde la teorización del pensamiento cuántico, pero en la práctica este conocimiento está aún lejano para establecer leyes o postulados.

Modelado basado en agentes

“Una oscuridad tan profunda que, tras apagar la linterna de bolsillo, no me veía los pies siquiera. Y sobre el estanque de la esclusa volaban cientos de luciérnagas. Los destellos de luz se reflejaban en la superficie del agua como chispas ardientes. Cerré los ojos y me sumergí un momento en el recuerdo”.
Haruki Murakami

Como referíamos anteriormente el modelado de sistemas es considerado uno de los primordiales aportes de los sistemas complejos adaptativos, desde su aparición en los años ochenta se volvieron relevantes en la ciencia, desarrollar esta herramienta fue un significativo avance para una certera aproximación a un nuevo paradigma científico basado en la complejidad y con matices en el reduccionismo. Daremos explicación breve sobre lo que se puede entender por un modelo basado en agentes y algunas de sus aplicaciones más generales.

Sancho Caparrini (2016) menciona la definición de Shannon en relación a la simulación: "El proceso de diseñar un modelo de un sistema real junto con la realización de experimentos con este modelo con el fin de mejorar la comprensión del comportamiento del sistema y/o de la evaluación de diferentes estrategias para el funcionamiento del sistema".

Los modelados basados en multiagentes apunta a una modelación que no sólo integra a los mismos agentes (personas, hormigas, *beats*, etcétera) y sus comportamientos, sino que se centra principalmente en el modelado de las acciones e interacciones que se manifiestan entre las entidades a través del medio ambiente.

En un sistema convencional de modelado lineal basado en ecuaciones, la dinámica global del sistema se define con características preestablecidas antes del uso del modelo, utilizando solamente relaciones matemáticas dadas, otorgando así propiedades irrompibles de un sistema global, contrariamente

en un modelado basado en agentes el comportamiento global del sistema se obtiene como resultado de dinámicas a nivel micro y que no fueron sugeridas por el observador, programador o diseñador del modelo. Los resultados de un modelo basado en multiagentes se obtiene desde las acciones e interacciones entre los organismos y el medio ambiente.

Ambos modelos, el ecuacional y el de multiagentes son de diferente utilidad y uso con aportes muy distintivos. En el modelado lineal se procura modelar las relaciones entre los observables de un sistema, se centra en características de interés particular y su medición. En el modelo de agentes múltiples se representan individuos que manifiestan una evolución resultante desde las interacciones entre los individuos y el medio ambiente. Los visones globales que se obtienen desde los modelos deberán perseguir diferentes objetivos, por un lado, el modelado lineal presenta desde un diseño previo la imposición de una dinámica global que intenta ser medible y comprobar posibles hipótesis o conductas. En un modelado de multiagentes existe una caracterización de la realidad tanto en el diseño del medioambiente como en el diseño de las micro características de los agentes, pero no se establecen dinámicas particulares a seguir, el modelado de este tipo espera obtener observaciones (postulados) desde la evolución que se dará después de la interacción entre los mismos individuos y con el contexto.

Para Sancho (2016) el modelado basado en agentes se fundamenta primordialmente en cuatro conceptos. La actividad autónoma del agente, la sociabilidad de los agentes, la interacción como conector de los dos conceptos anteriores y la contextualización de los agentes. A continuación, describimos sobre los puntos mencionados:

1. *La actividad autónoma del agente:* Punto importante en la naturaleza intrínseca de un agente, determina la capacidad del individuo para llevar a cabo una acción por iniciativa propia, lo vuelve proactivo, esto se da bajo el control de

su propio comportamiento con el fin de aumentar su satisfacción y con la conveniente decisión de ayudar o impedir que otros cumplan sus objetivos. Como puede observarse, la definición anterior del agente se basa y persiste en la autonomía de decisión, que resulta de la independencia con la que un agente trata de satisfacer sus objetivos (en el sentido amplio del término) mediante el uso de sus competencias y sus propios recursos o pidiendo ayuda a los demás.

2. *La sociabilidad de los agentes:* Es un enfoque ampliamente social, donde se reafirma que el agente tiene la capacidad de actuar con otros agentes, ratifica la importancia de la colectividad y las interacciones sociales en un sistema múltiple. Un agente no es un ente aislado, sino un elemento en una sociedad. La sociedad desde un postulado de visión sistémica y de complejidad emerge de las interacciones que se dan entre los agentes y esto se vuelve recíproco en la importancia que tiene la sociedad en la formación del agente. Así, la organización de una sociedad limita el comportamiento de los agentes, al atribuirle los roles que definen y restringen sus posibilidades de acción.
3. *La interacción como conector entre la autonomía del agente y la sociabilidad:* Las interacciones entre los agentes son un entrelazado de acciones, donde cada acción se decide en los procesos mentales de un agente, produce patrones organizados de actividades, que, a cambio, fuerzan y restringe la conducta de los agentes, esto es considerado como formas sociales emergentes. La participación y coincidencia de múltiples agentes en formas sociales emergentes crean la relevancia de las mismas dentro de un sistema. Por lo tanto, es a través de estas interacciones que surgen las formas y caracterizaciones sociales como la cooperación, el conflicto y la competencia, entre otras muchas formas sociales. Estas a su vez producen patrones de organización más o menos estables que estructuran la acción in-

dividual de cada agente, cumpliendo así la reciprocidad y la conectividad entre agente y sociedad.

4. *La contextualización de los agentes:* La importancia del entorno en los agentes es relevante, el contexto define las condiciones en las que éstos existen, actúan e interactúan los agentes inmersos. El medio ambiente funciona como un adhesivo que conecta a los agentes entre sí, permitiendo la interacción entre ellos de manera que sean capaces de alcanzar sus objetivos

Estos elementos que se estipulan para la modelación de un sistema de multiagentes son base primordial del enfoque social que se le da actualmente al estudio de la complejidad. Es común, que por ejemplo se estudie la complejidad de una sociedad urbana en términos muy similares a lo comentado, tanto si se van aplicar metodologías de modelación digital como si se van a realizar estudios de corte cualitativo, como podría ser una etnografía basada en el análisis de la complejidad social, esta gama de estudios utilizan en general el diagnóstico de sus observaciones desde la identificación de la autonomía de los agentes, su sociabilidad, sus interacciones y la relación de los individuos con el medio ambiente.

En consecuencia, el modelado de multiagentes basado en sistemas complejos adaptativos fundamenta sus dinámicas en estos procesos constantes y cíclicos. Los agentes operan de forma autónoma en un espacio delimitado por la estructura de la sociedad en la que actúan y la propia estructura social emerge de los comportamientos de estos agentes.

Este vínculo de fuerte correlación entre los agentes (nivel micro e individual) y las sociedades (nivel macro y colectivo), podría presentarse como la substancia esencial de las problemáticas que caracterizan a los sistemas complejos. La relación entre estos elementos forma múltiples dimensiones y escalas de observaciones posibles.

Lo modelado por multiagentes nos permite caracterizar numéricamente la evolución de un sistema a partir de sus parámetros relacionales. Estos modelos pueden ser vistos también como micro-universos que permiten agrupar variables cuantitativas, ecuaciones diferenciales y comportamientos basados en sistemas de reglas simbólicas, estos modelos logran efectivamente personificar dinámicas y principios de los sistemas sociales reales que se intentan modelar.

Los procesos emergentes que se producen con las interacciones de los modelos nos permiten representar situaciones complejas donde las estructuras globales serían el resultado esperado desde las interacciones entre los individuos, por lo tanto, esto permitiría extraer estructuras a un nivel macro desde las conductas dadas en el nivel micro, para generar parámetros que unifican a los dos niveles y dan rompimiento a una visión reduccionista. A continuación, se presentan concisamente algunos casos pioneros en la modelación por medio de múltiples agentes.

Unas de las primeras áreas del conocimiento que emplearon la modelación de multiagentes fueron la ciencia social. El economista estadounidense Thomas Schelling fue de los científicos pioneros en crear un complejo modelo de multiagentes que caracterizaba a personas y sus relaciones con el entorno, su trabajo se basó en encontrar dinámicas de segregación basadas en la suma de decisiones individuales de localización residencial.

Para Urrutia, López, Sabatini y Rasse (2016), Schelling (1971) experimenta con un modelo de vecindad lineal, en que dos grupos de individuos conviven ordenados en una sola línea, es decir, cada individuo tiene solo dos vecinos contiguos, el de su derecha y el de su izquierda. A cada grupo le asigna un determinado nivel de tolerancia, que consiste en un cierto número mínimo de vecinos iguales a él. En este modelo, experimentando con distintos tamaños de vecindario (número de individuos a izquierda y derecha que el sujeto considerará sus

vecinos), y con distintos niveles de tolerancia (un tercio de vecinos iguales, al menos la mitad de vecinos iguales, etcétera), encuentra consistentemente el mismo resultado: los niveles de segregación resultantes son siempre mayores a las preferencias mínimas de los individuos. Es decir, si se fijaba como tolerancia que la mitad de los vecinos fueran iguales a sí mismo, en la práctica los individuos terminan viviendo en barrios en que mucho más de la mitad de los vecinos son iguales a ellos.

Luego Schelling experimenta con un modelo en que la ciudad se entiende como un tablero de ajedrez, en que cada casilla representa una localización. En este caso, cada individuo tiene ocho vecinos contiguos. Nuevamente, experimentando con distintos niveles de tolerancia y asignando diferentes tamaños a cada grupo (a veces grupos iguales en tamaño, otras veces un grupo pequeño y otro grande), siempre los niveles de segregación resultantes son más altos que los niveles de tolerancia al otro de cada grupo.

Por último, Schelling explora los resultados posibles cuando al interior de cada grupo existen diferentes niveles de tolerancia. Señala que, en este caso, teóricamente podrían darse posibilidades de mixtura (en que aquellos sujetos con mayores niveles de tolerancia de cada uno de los grupos vivieran juntos en barrios más heterogéneos), sin embargo, al ser los resultados producto de opciones individuales (y no de acciones concertadas), en la práctica se producirían niveles de segregación mayores a los niveles de tolerancia de cada grupo. Durante los últimos casi cincuenta años el trabajo de Schelling ha sido ampliamente revisitado y modificado por diversos autores, comprobando sus hallazgos y creando aportaciones al modelo desde la visión múltiples de agente y su complejidad.

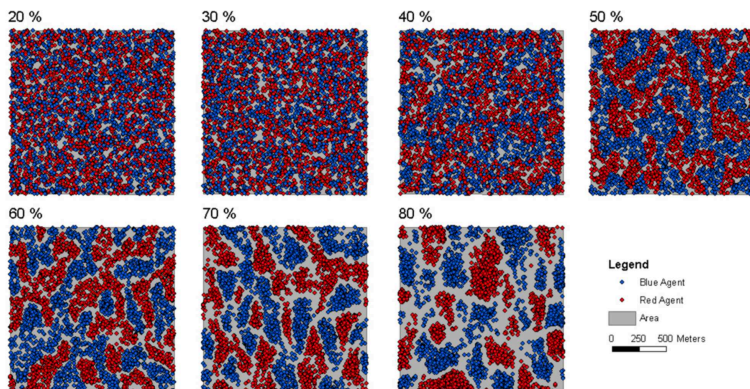
El trabajo de Schelling muestra cómo emergen propiedades globales desde las interacciones de la localidad, estas propiedades de nivel macro y global son representadas con el hallazgo de la segregación entre los agentes. Debido a este tipo

de trabajos la simulación social basada en agentes fue ampliamente utilizada durante los últimos treinta años del siglo veinte y actualmente se utiliza, pero bajo nuevos formatos de cómputo y de inteligencia artificial, dimensiones que han perfeccionado tanto las dinámicas de agentes así como capacidad de almacenamiento y visualización.

Mientras que la tendencia en la sociología del siglo XX ha sido postular un comportamiento de grupo *a priori*, la tesis propuesta por Shelling es que dicha conducta colectiva no se puede promediar en términos estadísticos a partir de la psicología individual. Según Shelling, el comportamiento colectivo emerge de la interacción entre los agentes donde existe una relación de interdependencia y causalidad: las decisiones tomadas por unos agentes tienen efectos sobre las decisiones de otros. Es en este punto donde adquieren sentido los modelos computacionales, ya que permitirán observar los fenómenos emergentes de conducta colectiva a partir de la interacción entre los agentes sociales.

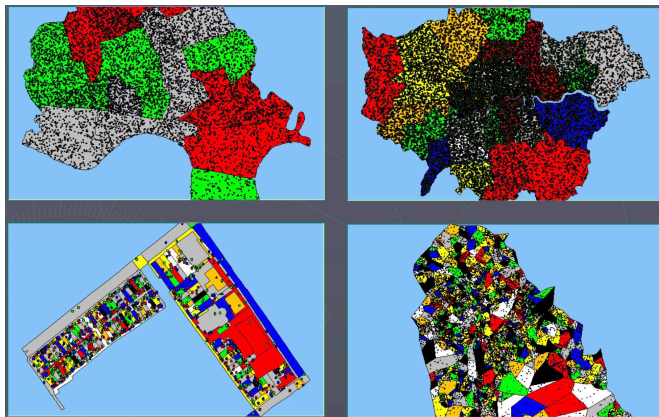
Este tipo de modelos como el de Shelling suelen visualizarse mediante un espacio reticular semejante al de los primeros autómatas celulares y donde cada celda representa una región geográfica. A estas regiones se le atribuyen unos rasgos culturales iniciales y la transmisión de los valores se produce mediante reglas de interacción. Se puede observar que en términos generales existe una tendencia a la homogeneización, un efecto de retroalimentación positiva donde las celdas se asemejan cada vez más a medida que se suceden las interacciones.

Application: Residential Segregation Model | The Role of Preferences



Agents satisfied if a certain % of their Neighbourhood \geq %

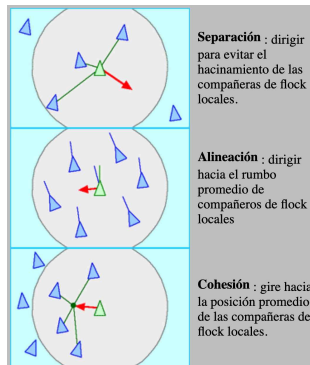
Modelo de segregación residencial de *Shelling*. Implemenación Crooks, A. (2008). Fuente: <https://interaccioneslocales.wordpress.com/abm-cas/agent-based-modelling/>



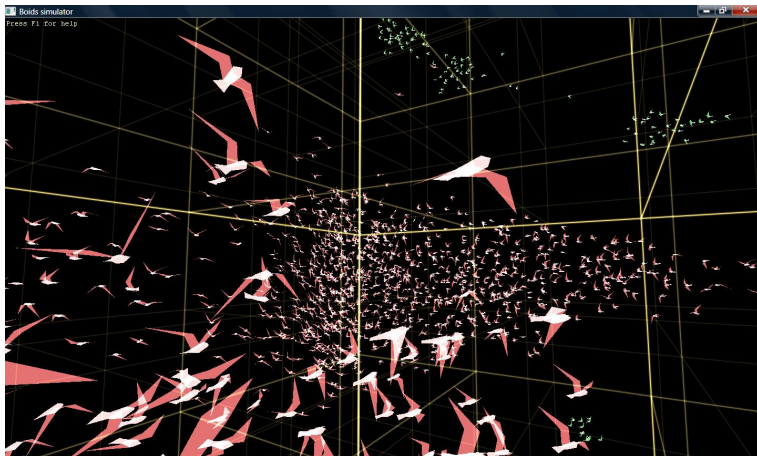
Diferentes escalas del postulado de segregación de Shelling. Fuente: <https://interaccioneslocales.wordpress.com/abm-cas/agent-based-modelling/>

Otro ejemplo característico y precursor de este tipo de modelaciones es la realizada por Craig Reynolds (1987), este investigador realizó una simulación de vida artificial donde el objetivo era replicar el comportamiento de las bandadas de aves.

La lógica primordial de este trabajo fue el controlar las interacciones de una virtual parvada completa partiendo desde el comportamiento individual de cada ave, esto basado en tres reglas simples: *separación*, *alineación* y *cohesión* de cada uno de los agentes en relación a los demás. La idea de Reynolds fue que el comportamiento de los *boids* debía estar influenciado por los demás para agruparse de manera coherente. Así, con sólo unas pocas reglas simples, el programa logra generar resultados globales que son lo suficientemente complejos y realistas para ser utilizado como un marco de aplicaciones en gráficos de computadora y para películas cinematográficas, un afamado ejemplo de aplicación es el uso del software *massive* para los efectos especiales de películas como “El Señor de los anillos”, en los que hay grandes escenas de batalla simuladas por autómatas homologados a los *boids*. El paradigma de los *boids* resulta muy adecuado para el modelado de interacciones y movimientos colectivos, pero es limitante en que sólo se basa en la percepción directa de los otros *boids* y por lo tanto el entorno no juega ningún papel relevante en la interacción entre los agentes. Más allá de la industria del cine y de la animación, se puede encontrar influencia de los *boids* en campos como la robótica móvil, por ejemplo, en las bandadas organizadas de drones y en la auto organización de sistemas de producción robotizados.



Los tres patrones básicos de programación del sistema de boids. Por Craig Reynolds. Fuente: <https://www.red3d.com/cwr/boids/>



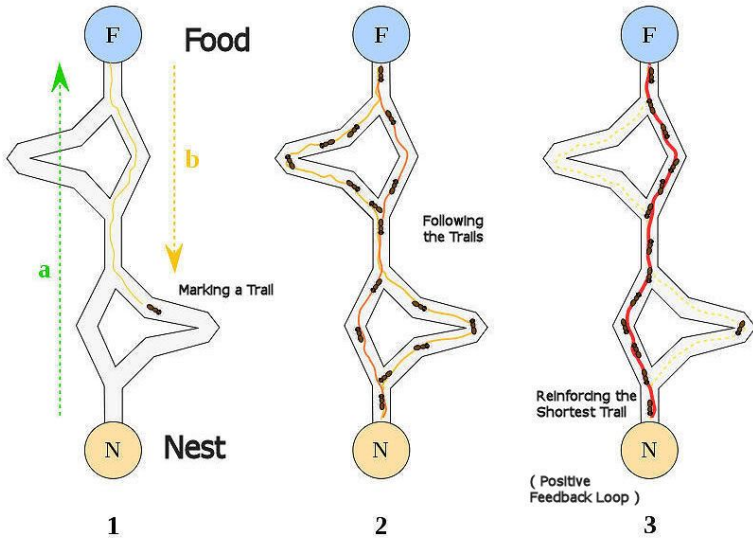
Simulador 3d de Boids. Creación: Giliam de Carpentier. Fuente: <http://www.decarpentier.nl/boids>

Otro ejemplo de simuladores de multiagentes con mucho éxito se extrae del estudio de colonias de hormigas, trabajos relacionados con sistemas multi-agente bio-inspirados. En las colonias de hormigas se presentan muchas características que se esperan de los modelos multiagentes como son la auto-organización, auto-adaptación, robustez, propiedades emergentes, etcétera. También sobresale la capacidad de las hormigas para resolver problemas complejos de una manera eficiente. Uno de los ejemplos más conocido y mejor modelado por el momento es el uso que hacen las hormigas de la feromona para encontrar caminos mínimos entre los nidos y las fuentes de comida. Muchas de las simulaciones sobre hormigas identifican que una de las características principales de estos insectos es su capacidad de utilizar feromonas (marcadores químicos evaporables) para comunicarse y coordinarse indirectamente a través del medio ambiente. Las feromonas permiten a las hormigas realizar tareas complejas debido a un mecanismo ambiental sencillo pero fundamental: las feromonas se evaporan, por lo que el sistema puede olvidar la información obsoleta, por ejemplo, los caminos que conducen a las fuentes de alimentos ya consumidas desaparecen progresi-

vamente en el tiempo. Este poderoso mecanismo se tradujo con éxito en programas de ordenador y simulaciones, definiendo de este modo el concepto de feromonas digitales que se ha utilizado en numerosos trabajos.

En la década de los noventa muchos trabajos de simulación se basaron en el estudio de las características de los sistemas basados en la colectividad e individualidad de las hormigas. Este insecto y sus formas de sobrevivir por medio de una sociabilización intensa atrajo la atención de muchos investigadores de los sistemas y la complejidad. Entre los precursores que trabajaron con hormigas, sobresale el proyecto MANTA (Modelado de la actividad de un hormiguero). MANTA se basó en un sistema de simulación y modelado innovador llamado EMF (Etho Modeling Framework) que era lo suficientemente simple como para ser utilizado por científicos sin conocimientos avanzados en informática. En segundo lugar, el propósito de MANTA era no sólo simular algunas características de hormigas, sino traducir todos los parámetros de un estudio biológico real en una granja de hormigas virtual. En consecuencia, las simulaciones MANTA estaban compuestas por todas las criaturas que se pueden encontrar dentro de un nido de hormigas (hormigas, larvas, capullos, huevos) y también se tuvo en cuenta el tiempo y algunos factores ambientales como la luz y la humedad (Sancho F. 2016).

Vale la pena señalar que, simultáneamente Marco Dorigo (1992) también tomó la inspiración de hormigas para definir un nuevo tipo de algoritmos de optimización, la Heurística de Sistemas de Hormigas. En concreto, se deriva de este enfoque un algoritmo distribuido, *Ant Colony Optimization (ACO)*, que es una técnica probabilística para solucionar problemas computacionales que pueden reducirse a buscar los mejores caminos o rutas en grafos.



Gráfica del algoritmo de Ant Colony Optimization (ACO).

Fuente: <https://www.ijser.org/paper/Ant-Colony-Optimization-to-Detect-Network-Risks.html>

Desde nuestra perspectiva, las hormigas podrían vagar permanentemente de manera aleatoria, hasta que una vez que encuentran alimento regresan a su colonia dejando un rastro de feromonas. Si otras hormigas localizan dicho rastro que les conduce al alimento, es probable que estas no sigan su caminata aleatoria, probablemente estas sigan el rastro de feromonas, regresando y reforzándolo.

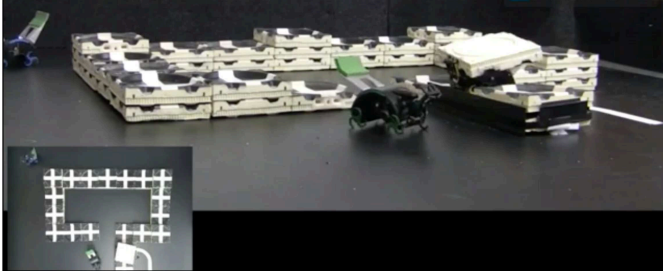
No obstante, la huella de feromonas comienza a evaporarse con el paso del tiempo, reduciéndose así su fuerza de atracción hacia las demás hormigas. Los caminos de mayor recorrido para encontrar comida tienden a evaporar mayormente la feromona y se vuelven pocos atractivos para los demás individuos, contrariamente los caminos cortos que llevan al alimento son transitados con mayor frecuencia y, por lo tanto, la densidad de feromonas se hace más grande en caminos cortos que en los largos. La evaporación de la feromona es necesaria y tiene una lógica de sobrevivencia y utilidad, si no exis-

tiera la evaporación, los caminos elegidos por la primera hormiga tenderían a ser excesivamente atractivos para las siguientes hormigas, creando esfuerzos innecesarios de exploración. En este caso, el espacio de búsqueda de soluciones sería limitado.

Entonces cuando una hormiga encuentra un camino exitoso entre la colonia y la fuente de comida, otras hormigas seguirán este camino y logrando una retroalimentación positiva se conducirá finalmente a todas las hormigas a un solo camino de alta efectividad. Por consiguiente, la idea del algoritmo de colonia de hormigas es reproducir este comportamiento con *hormigas virtuales-simuladas* caminando a través de un grafo que representa el problema en cuestión. Los simuladores basados en colonias de hormigas y contraria a los *boids* acentúan la importancia del entorno para lograr simulaciones de mayor complejidad y adaptación.

Tanto la simulación de *boids* como de hormigas ejemplifica la complejidad de un campo de la inteligencia artificial que se le ha denominado como *inteligencia de enjambre*. El concepto se definió inicialmente en el trabajo sobre inteligencia artificial de Gerardo Beni y Wang Jing (1989) quienes afirman que los sistemas robóticos celulares son capaces de un comportamiento *inteligente* que emerge desde lo local para llegar a una inteligencia global. Estos autores definen la inteligencia del robot y la inteligencia del sistema del robot en términos de la imprevisibilidad de un comportamiento improbable. El concepto de imprevisibilidad se analiza en relación con (1) la impredecibilidad estadística, (2) la inaccesibilidad, (3) la indecidibilidad, (4) la intratabilidad y (5) la no representabilidad. Se argumenta que los dos últimos tipos de imprevisibilidad, cuando son exhibidos por sistemas capaces de producir orden, pueden dar como resultado una forma no trivial y diferente de comportamiento inteligente (*Inteligencia de enjambre*). Los problemas de diseño e ingeniería que principalmente se abordan desde este tipo de conceptos se relacionan con siste-

mas robóticas celulares que consisten en colecciones de robots autónomos, no sincronizados y no inteligentes que cooperan para lograr tareas globales. Un ejemplo de esto es el desarrollo expuesto en 2014 por Justin Werfel la Universidad de Harvard y el Instituto Wyss de Ingeniería Inspirada en la Biología, quienes han analizado a fondo el tipo de información que se forma de una colonia de termitas para después replicarla en pequeños robots constructores. La lógica que emergió desde estas observaciones fue que cada termita permanentemente intercambia información con sus vecinas y con base a esto es apoyada para diseñar los algoritmos que rigen a sus sociedades de autómatas. Los robots no cuentan con reminiscencias antropomórficas y tampoco remiten en sus formas a termitas, pero sus algoritmos de comunicación son los que imitan a estos insectos. En realidad, cada robot de este sistema tiene una capacidad sensorial muy limitada: sólo puede detectar si tiene un ladrillo u otro robot al lado. Su actividad basal es recorrer el terreno, tomar un ladrillo y colocarlo, si donde va a colocarlo ve que ya hay un ladrillo, va saltando posiciones hasta encontrar un hueco y si no lo hay en esa altura, escala a la fila de arriba. Son reglas y comportamientos realmente simples. La complejidad emerge al nivel colectivo, como la inteligencia arquitectónica de las termitas (Sampedro J., 2014). Contrario a esta postura pareciera que los humanos requerimos necesariamente de algún tipo de control central para construir algo eficaz y utilitario, pero en cambio, las termitas y muchos “enjambres biológicos”, fabrican ciudades y complejas estructuras que superan en muchos sus proporciones, sin necesidad de planos, arquitectos, ni jefes de obra, realizan todo esto solo con dinámicas comunicación local.



Robots constructores que replican al sistema de termitas. Fuente:

[https://el-pais.com/sociedad/2014/02/13/actualidad/1392310892_460376.html](https://elpais.com/sociedad/2014/02/13/actualidad/1392310892_460376.html)

La inteligencia de enjambre durante las últimas décadas se ha vuelto una rama de la Inteligencia artificial que estudia el comportamiento colectivo de los sistemas descentralizados, auto-organizados, naturales o artificiales.

Por lo expuesto anteriormente podríamos afirmar que los sistemas complejos adaptativos están constituidos primordialmente por un aspecto que resulta clave: la falta de un agente de control centralizado, también conocido como marcapasos, en lugar de ello, cada unidad individual en el enjambre sigue sus propias reglas definidas, lo que a veces resulta en un comportamiento general sorprendente para la colectividad.



Robots constructores que replican al sistema de termitas. Fuente:

[https://el-pais.com/sociedad/2014/02/13/actualidad/1392310892_460376.html](https://elpais.com/sociedad/2014/02/13/actualidad/1392310892_460376.html)

Autopoiesis, observador y los dominios de la realidad

*¿Acaso no existe en mi cuerpo una especie de limbo de la memoria
donde todos los recuerdos cruciales van acumulándose y convirtiéndose
en lodo?*

Haruki Murakami

Alrededor de 1970 a 1972 el biólogo chileno Humberto Maturana en sociedad con Francisco Varela darían a conocer diferentes conceptos que se tornaron pieza clave para el entendimiento de la complejidad en el fenómeno de la propia vida y los sistemas biológicos. Hasta antes de la incorporación de estas ideas no existía de manera formal una aproximación de la complejidad a niveles tan íntimos de la biología en los sistemas vivientes. Posiblemente, la cibernética a partir de los escritos de Rosenblueth sobre fisiología y comportamiento sobre el sistema nervioso (1943, 1950, 1987 y 1995) fueron los trabajos más cercanos a lo propuesto por los investigadores chilenos. Cabe aclarar que los escritos de Rosenblueth no tenían como objetivo entender la auto formación de los sistemas vivos por medio de sus interacciones, pero, sus trabajos si observaban algunos métodos que interactuaban con las características básicas de los sistemas vivos.

Las innovaciones de Maturana y Varela estuvieron al borde de los conceptos principales sobre complejidad y sistemas complejos adaptativos, los que hasta esos momentos se concebían primordialmente desde la utilidad tecnológica de la inteligencia artificial, los simuladores y a la propia cibernética.

Desde la llamada biología del conocimiento tanto Varela y principalmente Maturana utilizan la organización sistémica como la posibilidad estructural para fundamentar sus aportaciones. El sustento de una naturaleza molecular en los seres vivos a partir de la cual los mismos seres se autoconstruyen y de la cual se derivan interacciones que crean dimensiones su-

periores pero dependientes de su origen fue un acierto para poder sucesivamente postular niveles de subjetividad intrínseca en estos dimensionamientos de un ser. Así mismo, la relación con el entorno que obligatoriamente se sostiene por las cualidades de los seres biológicos da una pauta interesante para el análisis de la realidad desde una validación individual, colectiva y única. Las siguientes líneas que explicamos es un breve análisis de los conceptos más distintivos de estas propuestas radicales e innovadoras para sus tiempos.

Seguramente el concepto más relevante generado por esta mancuerna de investigadores es la denominada *Autopoiesis*. (Etimológicamente: *aut(o)- αὐτός* gr. “que actúa por sí mismo o sobre sí mismo” + *poie-sis ποιησις* gr. “fabricación”, “producción”). En una descripción breve, la autopoiesis es la condición de existencia de los seres vivos en la continua producción de sí mismos. La definición original al concepto de autopoiesis se puede encontrar en el libro *De Máquinas y Seres Vivos* (Maturana y Varela, 1995, p.69):

“Una máquina autopoietica es una máquina organizada como un sistema de procesos de producción (transformación y destrucción) de componentes que: (i) generan los procesos (relaciones) de producción que los producen a través de sus continuas interacciones y transformaciones (ii) constituyen a la máquina como una unidad en el espacio físico. Por consiguiente, una máquina autopoietica continuamente específica y produce su propia organización a través de la producción de sus propios componentes, bajo condiciones de continua perturbación (producción de componentes). Podemos decir entonces que una máquina autopoietica es un sistema homeostático que tiene a su propia organización como la variable que mantiene constante”.

Así, la autopoiesis es la propiedad de los sistemas para producirse y define la forma de acoplamiento de un sistema a su entorno. La autopoiesis es la propiedad básica de los seres vivos, puesto que son sistemas determinados en su estructura, es decir, son sistemas tales que cuando algo externo incide

sobre ellos, los efectos dependerán solamente de ellos mismos, de su estructura en ese instante, y no de lo externo. En consecuencia, los seres vivos son organismos autónomos, en los que su autonomía se da en su autorreferencia y son sistemas cerrados en su dinámica de constitución como sistemas en continua producción de sí mismos. Los sistemas de este tipo estarán abiertos a su medio por la necesidad de intercambiar materia y energía, pero paralelamente se mantendrán cerrados operacionalmente, pues serán sus propias operaciones las que los distinguen del entorno, dándoles así su propia identidad distintiva. Estos sistemas son autónomos en sus operaciones debido a la capacidad que tendrá cada sistema para reaccionar y amoldarse según los estímulos que inciden desde el medio sobre él, una de sus mayores cualidades es la permanente adaptación al entorno. Este proceso autopoiético responde a su interrupción de procesos bajo la respuesta de obsolescencia o muerte del ser vivo, la vitalidad de un sistema autopoiético resulta de los mecanismos interruptores internos y externos a los cuales se encuentra sometido para su auto-producción y adaptación.

Por tanto, una propiedad relevante de los sistemas autopoiéticos, es su autorregulación continua, aunque un sistema autopoiético se mantenga en desequilibrio, es capaz de conservar su consistencia estructural absorbiendo permanentemente la energía de su entorno. Los sistemas autopoiéticos, como las células y los seres vivos, tienen la capacidad de conservar la unión de sus partes e interactuar con ellas. La autopoiesis designa la manera en que los sistemas mantienen su identidad gracias a procesos internos en que autorreproducen sus propios componentes.

Una circunstancia importante de los sistemas autopoiéticos es que estarán en condición de expresarse en diversidad de grados debido a sus características relacionales. Por ejemplo, en un organismo complejo se podrá tener, por lo tanto, una autopoiesis de primer orden (nivel molecular) en la cual se fun-

damentan las autopoiesis de organismos de niveles superiores (nivel de organismos multicelulares o de segundo orden) y que a su vez sustentan una autopoiesis de tercer orden (nivel de sistemas sociales). Sin embargo, tanto en la autopoiesis de segundo como de tercer orden, éstas se constituyen por las relaciones autopoieticas de sus componentes y no por estar compuestas por elementos autopoieticos. Se vuelve esencial en este postulado el que los componentes deben ser autopoieticos en su base. Es decir, serán autopoieticos los sistemas de segundo y tercer orden únicamente en la medida en que sus procesos dependen de ciertos componentes autopoieticos en su base de primer orden.

Complementando lo anterior, en años más adelante a la exposición de los conceptos iniciales, Varela (2000, p. 33) aportó ciertos criterios de validación para sostener que nos encontramos frente a un sistema autopoietico (vivo), y que se pueden resumir en tres puntos:

1. *Borde semipermeable*: Verifique que el sistema se define por un límite o borde semipermeable constituido por componentes moleculares que permite discriminar entre el interior y el exterior del sistema en relación con los componentes relevantes del sistema. Si es así, proceda con el criterio 2.
2. *Red de reacciones*: Verifique que los componentes de la barrera son producto de una red de reacciones que opera al interior de la barrera. Si la respuesta es afirmativa, proceda con el criterio 3.
3. *Interdependencia*: Verifique que la red de reacciones es regenerada por condiciones producidas por la existencia de la misma barrera, es decir, que 1 y 2 son interdependientes. Si es así, el sistema es autopoietico.

Acotamos la singularidad, que tanto Maturana como Varela acentuaron que el enfoque para el desarrollo del concepto de autopoiesis era mecanicista:

“Nuestro enfoque será mecanicista... No se aducirán fuerzas ni principios que no se encuentren en el universo físico. No obstante, nuestro problema es la organización de lo vivo y, por ende, lo que nos interesa no son las propiedades de sus componentes, sino los procesos y relaciones entre procesos realizados por medio de componentes” (Maturana y Varela, 1995, p. 65).

Aunque los autores determinan que su visión inicial es mecanicista, subrayan que para lograr el cometido se centrarán en los procesos e interacciones que se dan en el sistema, recurriendo por lo tanto a una perspectiva sistémica, perspectiva que complementa tanto lo mecanicista con lo sistémico, pues explican los sistemas vivos por sus convergencias relacionales y no sólo por las propiedades en sus componentes.

Ninguna de las moléculas de un sistema puede establecer el operar de un ser vivo, sino más bien que éste es producto de la dinámica autopoietica. Maturana y Varela confirman lo anterior bajo la declaración:

“En efecto, un fenómeno es el sistémico si ocurre como resultado del operar de los componentes de un sistema mientras realizan las relaciones que definen al sistema como tal, y en tanto ninguno de ellos lo determina por sí sólo, aun cuando su presencia sea estrictamente necesaria” (Maturana y Varela, 1995, p 23).

Subsecuentemente, Maturana y Varela en su trabajo “El árbol del conocimiento” reafirman que lo que hace a los seres vivos sistemas autónomos es su organización autopoietica y los seres vivos existen en tanto se realizan como sistemas autopoieticos moleculares. En este documento, los autores señalan y reafirman de una manera más desarrollada la postulación del *Determinismo Estructural*, indicando que los seres vivos bajo el auspicio de ser sistemas moleculares, son sistemas que se

determinan desde su estructura. Así los sistemas vivientes son sistemas tales que todo lo que pasa en ellos surge determinado en su dinámica estructural, de modo que, desde esta postura lo externo sólo podría llegar a activar en un ser vivo cambios estructurales determinados en él. Por lo anterior, el ser humano desde su condición de vida, sólo podrá, oír, ver, olfatear, sensibilizarse y actuar desde sí mismo.

Para Maturana, la dinámica estructural es concordante con el medio en que opera, desde el observador crea una correspondencia en el operar de un ser vivo y sus circunstancias, esto crea el *acoplamiento estructural*, donde el ser vivo tiene una estructura plástica, flexible y adaptativa que cambia en concordancia con la estructura del medio, de lo contrario el sistema moriría por falta de acoplamiento entre su estructura y el entorno. Esta dinámica de acoplamiento es fundamental para el ser vivo, mientras éste viva generará constantemente conductas concordantes con el medio.

Así como los sistemas vivientes conservan su correspondencia estructural con el medio mediante interacciones recurrentes que ocurren en el dominio de coordinaciones de acciones consensuales, existiría un acoplamiento conductual entre individuos, donde la conducta de uno de los organismos pasa a ser fuente de deformación para el otro y así recursivamente hasta que se interrumpe el acoplamiento. Estas son interacciones comunicativas, nos dirán Maturana y Varela (1995, p. 25).

En consecuencia, existen tantos dominios de determinismo estructural como dominios de coherencias experienciales y cada dominio de coherencias experienciales será un dominio de determinismo estructural. En los múltiples dominios de acoplamiento estructural los sistemas cambian juntos en sus interacciones recurrentes y conservan su coherencia operacional como resultado de su adaptabilidad estructural. Es decir que, aunque los seres vivos, autopoieticos, son sistemas cerrados, su modo de operar cambia según las eventualidades de

sus interacciones, porque su estructura plástica y adaptativa cambia de manera contingente y circunstancial al curso de esas interacciones.

Es desde estos entendidos que Maturana (1990, p. 22) deriva los siguientes los conceptos: *clausura organizacional del sistema nervioso*: estamos cerrados a la información; *determinismo estructural*: lo que nos pasa depende de nuestra estructura; *acoplamiento estructural*: vivimos en congruencia con el medio y con los otros, además en constante cambio estructural. Por lo tanto, el organismo y medio se gatillan mutuamente cambios estructurales.

Un término relevante en la estructura conceptual de Maturana es el observador y sus subsecuentes dinámicas en un sistema de correlaciones. Al observador se le darán principalmente las características y propiedades necesarias para experimentar una subjetividad y tener algún tipo de incidencia sobre la realidad y los sujetos similares. Afirma Maturana que el observador tiene la pertinencia de existir como ser vivo en un espacio de coherencia operacional con su circunstancia, en un permanente acoplamiento estructural. Por lo tanto, no pasa cualquier cosa, sólo pasa lo que puede pasar de acuerdo a la dinámica estructural del sistema y de la circunstancia. Así mismo, el conocimiento no es recibido pasivamente por el observador, sino que es permanentemente construido por un sujeto de cualidad cognoscente y la función de la cognición es adaptativa y sirve para la organización del mundo experiencial, no para el descubrimiento de una realidad objetiva ontológica. Podemos deducir, por lo anterior, que la sugerencia de estos postulados es que *el conocimiento no es necesariamente una representación de la realidad*.

Se considera pertinente aunar algunas líneas aclaratorias sobre la conceptualización de un observador cognoscente, para la Real Academia de la lengua española (RAE, 2019) su significado es: *Que conoce o que puede conocer*. Sin embargo, el uso de este concepto es frecuente en la filosofía metafísica y en es-

cuelas filosóficas de diferentes índoles, en lo general se le da el entendido de que el sujeto cognoscente, es quien realiza el acto del conocimiento. Epistemológicamente suele discutirse si la realidad a la que accede el sujeto es la verdadera realidad, una parte de ella o una realidad construida por el observador. Algunas corrientes filosóficas sostienen que el ser cognoscente no tiene acceso a la realidad, sino que sólo puede percibir un fenómeno o una manifestación de la misma. Por ejemplo, el positivismo filosófico, afirma que el sujeto cognoscente está fuera de la realidad, siendo el conocimiento una extracción de contenido de ésta. Por el contrario, el constructivismo, como lo explicado por Maturana y Varela, sostiene que el individuo (observador) cognoscente genera su propia realidad, por lo que ésta no es externa. Generalizando el concepto, puede decirse que el sujeto cognoscente interactúa de manera permanente con la realidad para generar algún tipo de conocimiento que le permita adaptarse al entorno.

En suma, Maturana explora la idea del observador y su proceso de observar bajo el concepto de *ontología del observar*, bajo esta idea intenta describir que el explicar científico no hace nunca referencia a una realidad independiente del observador y que no se requiere el supuesto de una tal realidad postulando que la noción de realidad es solo una proposición explicativa. El parte de la experiencia del observar y se pregunta por el origen de las capacidades del observador aceptando la pregunta:

“¿Cómo se explican mis habilidades o capacidades como observador? En el proceso de responder a esta pregunta desarrolla lo que él llama ‘La ontología del observar’. Así dice: ‘Todo lo dicho es dicho por un observador a otro observador que puede ser él o ella misma’ en su propuesta de suspender la convicción respecto a la objetividad de nuestras percepciones. Invitando a poner la objetividad entre paréntesis en el proceso de explicar” (Maturana, 1997, págs. 56, 43, 44, 45, 30)

Desde estos apuntes el observador se podría considerar como el punto de partida de todo conocer a partir de generar una particularidad o distinción. Maturana (1984, p.13) para referirse a las distinciones del observador dirá “todo acto de conocer trae un mundo a la mano”.

Por lo tanto, será en la propia explicación de la experiencia de la distinción que surgiría el problema de la realidad, la operación de distinción específica entonces lo distinguido, y lo distinguido a su vez surge de la nada con la operación que lo distingue y lo configura. Para el observador, entonces, lo distinguido surge como si hubiese existido anterior a la propia distinción y como si fuese a existir perpetuamente después de ella. El observador explica siempre desde su experiencia, por lo tanto, la experiencia es lo que el observador distingue que le pasa en determinadas circunstancias.

Como mencionan Gilbert y Corre (2001), Maturana logra la articulación del concepto de autopoiesis y la ontología del observador por medio de una reflexión sobre los múltiples dominios posibles que pueden existir desde la realidad a la que se enfrentan los variados observadores. Visualizando e intentando aportar legitimidad, coherencia y validez al observador/es. Así la reflexión completa de Maturana estará organizada por tres conceptos aglutinantes de las ideas, el dominio de realidad, dominio de explicación y dominio cognitivo.

Primero, el dominio de realidad o también denominada por el autor como *realidad objetiva en paréntesis* es la idea de que hay tantos dominios de realidad legítimos como dominios de explicaciones que un observador puede traer a mano a través de las coherencias operacionales de su praxis del vivir. “Toda afirmación es válida en algún dominio de realidad” (Maturana, 1997, p. 24-25). Para Gilbert (2001, p. 178) en sentido de crítica a la realidad entre paréntesis, comenta: *El anything goes (todo se vale) de Feyerabend encuentra ahora un sustento en la denominada Biología del conocimiento*. En realidad podríamos encontrar en el trabajo de Maturana no sólo la justificación necesaria para los

postulados del filósofo austriaco anarquista, de manera propia también creemos que estos postulados podrían dar un sentido a los *excéntricos* postulados científicos de la física cuántica y sus modelos de multiversos extraídos desde la percepción del individuo y su asociación con otros a partir de la colectividad para formar una propuesta de realidad de vivencias pero sin ser la única posibilidad (Green, 1999 y 2011).

Segundo concepto articulador será *el dominio de explicación* que se define como el criterio de validación usado por un observador para aceptar una reformulación de la praxis del vivir (Gilbert, 2001, p. 178). Hay tantos dominios de explicación como criterios de aceptación. Constituye a los dominios de acciones, desde que cada dominio de acción es aceptado como legítimo, este es un dominio cognitivo en ese dominio (Maturana, 1997, p 28).

Tercero, por lo tanto, mientras que cada dominio cognitivo es un dominio de coordinación de acciones en la praxis del vivir de una comunidad de observadores. Es un dominio particular de coherencias operacionales, esto es, un dominio racional. Son dominios consensuales en la praxis del vivir de los observadores (Gilbert y Correa 2001, p.178). Pero lo más relevante en este dominio cognitivo es que se vuelve en punto de convergencia entre los dominios en que actúan los individuos, constituyendo dominios de los cuales emergen sentidos homogeneizadores e isomorfos, esto es, redes de conexiones e interacciones determinadas bajo emociones y procesos de sensibilidad. Un ejemplo latente y práctico de esto es el impulso de los seres humanos para ponerse de acuerdo bajo una normativa similar como podría ser el uso de un lenguaje determinado. Manifestando así una coherencia operacional y sistémica.

Por lo tanto, y desde estas perspectivas surgirían dos vías hermenéuticas; uno es el camino explicativo de *la objetividad sin paréntesis* que surge a partir de que el observador acepta que posee como propiedad constitutiva, la capacidad de hacer re-

ferencia a una realidad trascendente para validar su explicar (Maturana 1990, p. 25). “Las cosas existen independientemente de si él o ella las conoce, y de si él o ella puede o no conocer acerca de ellas a través de la percepción o la razón” (Maturana, 2002). Esta posición expresa que cuando se habla de un mundo material, el observador no se compromete, no lo implica en nada, sino que se trata de una existencia independiente de la vida misma de cada ser humano. En la objetividad *sin paréntesis* cualquier explicación dada adquiere una validez incuestionable, pues, el observador hace afirmaciones que nada tienen que ver con su propia y manifiesta subjetividad, no se depende del mundo perceptual del observador. Este tipo de objetividad presume que el ser humano es capaz de capturar la realidad tal cual es, pretendiendo darle un carácter de universal. De esta manera se subvalora la subjetividad humana asignándole una anulación antes su posible explicación. En consecuencia, la objetividad *sin paréntesis* tendería a una postura racional.

Ante esta postura de racionalidad que despoja la subjetividad de un valor posible, Maturana (1997, p. 63) menciona: “Es en este camino explicativo donde una pretensión de conocimiento es una demanda de obediencia”. Sumisión que se sustenta en provocar una insensibiliza de lo subjetivo a partir de la constante explicación racional que se crea del mundo de definiciones y su consecuente praxis.

Al ubicarse el ser humano en este *camino explicativo* en el que lo único que tiene que hacer es permitir el reflejo de la realidad en su conciencia o escuchar las explicaciones verdaderas que realiza uno a otro y aceptarlas como tales, cae en una posición de obediencia y dominación pues, “en este camino explicativo sostener que una afirmación dada es una ilusión, es rehusar su realidad, y negar su validez” (Maturana, 1997, p. 35).

La otra vía es el camino explicativo de *la objetividad en paréntesis*, que surge al aceptar el observador que sus habilidades como tal surgen de su operar como ser vivo en el lenguaje, y reco-

nocer que como ser vivo no puede distinguir en la experiencia entre ilusión y percepción. La postura de la objetividad en paréntesis no corresponde a lo subjetivo, sino que señala un darse cuenta. El observador se da cuenta que en la experiencia no es posible diferenciar entre ilusión y percepción y acepta no usar, dado que es imposible el supuesto acceso a una realidad trascendente para validar su explicar. Maturana *reconoce de esta manera que explica la experiencia con coherencias de la experiencia y que lo que valida su explicar son las coherencias de sus experiencias* (Maturana 1990, p.43-45).

Características de la *objetividad con paréntesis* será que las habilidades cognitivas como observador son propiciadas por los fenómenos biológicos, ya que estos fenómenos son alterados cuando su biología es alterada, y su dinámica es tender a desaparecer justo con la muerte del ser vivo. En consecuencia, el conocimiento de la realidad establecerá una implicación del observador en el propio ejercicio de observación, en lo observado; más aún, el observador se integra y es parte de la misma observación, de lo observado y de la realidad, todo esto bajo una capacidad unificadora y de coherencia en la operación. En suma, el desarrollo explicativo de la *objetividad con paréntesis* será a partir de que la existencia es establecida con lo que el observador hace, esto conlleva que el observador trae a su existencia los objetos que él o ella distingue con sus diferentes operaciones de distinción. Por lo tanto, cada dominio de realidad constituye un dominio de explicaciones de la praxis del vivir del observador, en tanto él usa recursivamente las coherencias operacionales que la constituye, para generar reformulaciones explicativas de su praxis del vivir. La existencia desde este postulado acaba construyéndose ininterrumpidamente en el *lenguajear* del observador, proceso en el que no es posible la fractura entre observador y realidad. Lo que reafirma la unidad: realidad- explicaciones del observador.

Desde la aparición de los conceptos de Maturana y Varela se ejercieron todo tipo de críticas a sus conceptos, en el docu-

mento de Gilbert y Correa (2001) se ejemplifica de buena manera un resumen de las correspondientes pugnas: *Se podría invocar una contradicción entre las siguientes afirmaciones; la primera, que la realidad es construida por el observador y, la segunda, que esto es cierto independientemente de si yo lo digo. Pero esto sería faltar a la verdad: Maturana jamás ha caído en contradicción porque en ninguna parte afirma que su teoría es independiente de él en tanto persona. El autor puede afirmar: “Esto es así”, a lo que un detractor dirá: “¿no lo estará engañando su perspectiva?”; a lo que el autor replicará: “No, porque precisamente es válido para mí porque yo lo digo”, a lo que el ingenuo replicante argumentará: “yo pienso distinto”; dando pie al cierre categórico del autor: “Eso está muy bien. Lo que usted dice confirma mi teoría”.*

Sin embargo, Varela y principalmente Maturana dan origen a un giro fundamental en la comprensión del ser humano y su comprensión de vida, con la llamada *Biología del Conocimiento*. Desde la creación de sus primeras ideas que eran las más cercanas a los propios postulados de la complejidad y las dinámicas sistémicas hasta la innovación y excentricidad de conceptos como los dominios y los diferentes tipos de realidad se acrecentó, sin duda, el saber de nosotros mismos y se nos proporcionaron herramientas para conceptualizar fenómenos con los que vivimos permanentemente pero que no habíamos podido sobrellevar como un cometido de estudio que nos dejara vislumbrar más adecuadamente su dinámica, mecanismo y existencia. Se considera posible que los postulados vertidos sobre *Autopoiesis*, sobre el *Observador*, sobre el *Constructivismo* y sobre la *realidad en paréntesis* y sin ellos, serían aportes relevantes que abrieron, exploraron y han delimitado temporalmente lo que para otros investigadores de la complejidad y lo sistémico representaba una total caja negra.

Teorías de los sistemas sociales

—¿Y por qué no dejas de hacerlo?
—Me cuesta explicarlo. Se parece a lo que Dostoiévski escribió sobre el juego.
Es decir, cuando a tu alrededor todo son oportunidades, es muy difícil pasar de largo sin aprovecharlas, ¿entiendes?
—Más o menos —afirmé.
Haruki Murakami

Niklas Luhmann fue un sociólogo de origen alemán, conocido ampliamente por sus aportes radicales a la sociología. El conocimiento que elaboró se centró en describir su entendido de la sociedad moderna como un sistema. Vislumbró un sistema social, no formado por individuos sino por comunicación, a este sistema lo diferenció coherentemente en subsistemas funcionales cerrados que funcionan por medio de códigos especializados y singulares para cada agrupación. Por ejemplo, daba sentido a subsistemas político, económico, religioso, artístico o jurídico.

La teoría de Luhmann tiene una fuerte y sólida base sociológica, pero logran expandirse a campos como la comunicación, la sociedad global, ecología, semántica, pedagogía o las ciencias políticas, entre otras varias áreas del concomitamiento. Su trabajo de nutre de múltiples fuentes y objetos de estudio, como la complejidad, la cibernética, la biología o las matemáticas aplicadas, por mencionar algunas, esto lo lleva a crear dinámicos contenidos de corte transdisciplinar.

Luhmann, como muchos autores de la época y de corte sistémico, genera evidentes críticas al modelo funcionalista que prevalecía en la ciencia y también daría continuas posturas en contra de la teoría sociológica de Parsons, a quien se le consideraba el patriarca de los principales modelos sociológicos de inicios del siglo XX. Sobre las críticas al modelo funcionalista, menciona Arriaga Álvarez (2003, p. 277):

“La discusión que hace (Luhmann) del funcionalismo no sigue el camino que consistía en demostrar su inaplicabilidad como método de investigación de los problemas sociales. Su postura consiste en la afirmación de que el más grave problema del funcionalismo ha sido la falta de radicalidad con que se ha hecho uso del análisis funcional. No se trata de que el método funcional sea inadecuado, sino que no se le ha utilizado en su verdadera potencialidad. Para hacerlo, es necesario radicalizar el método funcional, entendiendo a la función en el sentido matemático del término: como esquema lógico regulador, que permite comparar entre sí como equivalentes funcionales sucesos que, desde otra perspectiva, serían absolutamente incomparables”.

De tal forma, Luhmann definiría su postura como un teórico funcional – estructuralista, radicalizando el paradigma estructural – funcionalista de los seguidores de Parsons, de esta manera Luhmann considera que no existen estructuras dadas que deban ser sometidas por la cuestión de sus funciones requeridas, avala que es la función la que antecede a la propia estructura (Luhmann, 1995).

Desde este postulado interesado principalmente en la función, será sostenible uno de los principales aportes teóricos del autor, preguntarse por la función de la construcción de un sistema dado. Para Luhmann, esta función reside en la comprensión y la reducción de la complejidad. Bajo esta idea, la complejidad no es vista como una dificultad para la elaboración de un sistema, al contrario, la complejidad se establece en la condicionante que hace posible al sistema. Por lo tanto, para Luhmann, un sistema surge en un proceso de reducción de complejidad, donde el sistema es menos complejo que su propio entorno y sus límites respecto de él no son físicos, sino de sentido.

La obra de Luhmann es abundante, profunda y de una lectura complicada en su narrativa, sin embargo, establece parámetros paradigmáticos para la exploración y el entendimiento del sistema social y sus subsecuentes subsistemas, desarrolla una

teoría que revoluciona y actualiza a la sociología, a la complejidad y a lo sistémico dentro de un orden social contemporáneo.

Sistema social

Luhmann identifica tres principales sistemas en esta realidad que perciben los acontecimientos que se producen en sus entornos como ruidos. Menciona el *sistema social* que tiende a reproducir la comunicación, segundo el *sistema de lo vivo* que reproduce la vida y los *sistemas psíquicos* que reproducen permanentemente la conciencia. Bajo esta lógica, categóricamente todo lo que no es comunicación pertenece a su entorno.

El autor se centra principalmente en el desarrollo del sistema social, sistema que como cualquier otro sistema está cerrado sobre sí mismo, así el individuo carece de medios para intervenir sobre el sistema social y, más aún, para gobernarlo.

Luhmann explora dos ideas que contradecían la idea evolutiva de los sistemas con base a la propia complejidad, estas ideas consistían en la observación y la distinción, apartados que le permitieron generar una reformulación de la teoría de los sistemas como una teoría que contempla a los demás sistemas como observadores.

Desde la distinción, el sistema no tiene existencia en sí mismo, sino que sólo existe y se conserva gracias a su distinción con el entorno o ambiente, acentuando que el valor de la diferencia es relativo al sistema considerado. Desde este apartado se tendría que dejar de lado al mundo como una unión de cortes etéreos y con matices espirituales, para abstraerse hacia una comprensión del mundo bajo procesos de múltiples redes de observadores transpuestos que no podrían ser unificados por una sola observación integrada y total. Por lo tanto, el punto de partida para el análisis del sistema será la diferencia entre

el propio sistema y entorno, como premisa para el establecimiento de operaciones autorreferenciales del sistema mismo.

Importante mencionar que Luhmann recurre al concepto de *forma*, que surge en contraste con el entorno para precisar qué es un sistema. Por lo tanto, al establecer un sistema en realidad establecemos una forma que cuenta con propiedades distinguibles como unidad y que se provoca de una diferencia con el entorno. La forma provoca la distinción del sistema respecto del entorno, la distinción de algo respecto a su contexto. Sistema y entorno, “[...] en cuanto constituyen las dos partes de una forma, pueden sin duda existir separadamente, pero no pueden existir, respectivamente, uno sin el otro. La unidad de la forma permanece presupuesta como diferencia, pero la diferencia no es fundamento de las operaciones. Las operaciones sólo son posibles como operaciones de un sistema” (Luhmann, 1993, p. 37).

En consecuencia, los sistemas estarían estructuralmente dispuestos hacia el entorno y sin él, no podrían existir, justamente por esto tanto el sistema como el entorno mantienen una unidad constante. Por tanto, no se trata de un contacto ocasional ni tampoco de una mera adaptación, los sistemas formalmente se constituyen y se mantienen mediante la creación y la conservación de la diferencia con el entorno. De no existir la diferencia formativa del sistema no habría autorreferencia, debido a que la propia diferencia es la premisa que actúa para la función de todas las operaciones autorreferenciales, de esta manera la conservación de los límites es la conservación del sistema.

Para Luhmann, esta diferencia entre sistema y entorno obliga, como paradigma de la teoría de sistemas, a sustituir la diferencia del todo y las partes por una teoría de la diferenciación de los sistemas:

“La diferenciación de los sistemas es, simplemente, la repetición de la formación de sistemas dentro de los sistemas. Asimismo, dentro de éstos se pueden encontrar diferencia-

ciones de diferencias adicionales de sistema / entorno. Con ello, el sistema global adquiere la función de “entorno interno” para los sistemas parciales, el cual, sin embargo, es específico de cada uno de ellos. La diferencia de sistema / entorno se verá duplicada: el sistema global se multiplica en una pluralidad de diferencias sistema / entorno. Cada diferencia de sistema parcial / entorno interno se constituye en un sistema global, aunque de perspectiva distinta. De allí que el sistema de diferenciación sea un procedimiento de aumento de la complejidad con consecuencias considerables para aquella unidad que todavía pudiera observarse del sistema global” (Luhmann, 1998, p. 42).

La diferencia cuenta con la propiedad de conferir unidad a lo diferente. Paradigmáticamente las diferencias generan procesos operacionales de adaptación que mitigan lo desigual y tienden a la homogenización, esto se vuelve relevante en medida que se podrá descifrar la unidad del sistema con base en el principio de la construcción de la diferenciación.

Diferenciación en el sistema que conlleva a la formación de subsistemas es uno de los principales conceptos Luhmanianos que se han explorado, esta idea de diferencia y por lo tanto singularidad ha permitido la formación de subsistemas dentro de un sistema social, dinámica que permite alcanzar la necesidad de una mayor complejidad en la sociedad. Este proceso de sub-sistematización se acrecienta en las estructuras de los sistemas sociales contemporáneos debido a la exacerbada comunicación que se establece en el sistema y se resalta que esta diferenciación pertenece a un orden funcional del propio sistema, donde en realidad cada subsistema podría ser una contingencia para la resolución de problemáticas propias del sistema social en la escala general. Para Luhmann, este proceso de diferenciación funcional será el principal razonamiento para establecer la definición de las sociedades modernas sobre las sociedades que las preceden. Sobre los subsistemas Luhmann (1999, p. 43) describe: “Se puede describir una sociedad como funcionalmente diferenciada a par-

tir del momento en el cual forma sus principales subsistemas en la perspectiva de problemas específicos que deberán ser resueltos en el marco de cada sistema funcional”.

En consecuencia, las denominadas sociedades premodernas prevalecen formas y dinámicas de diferenciación poco complejas. Este tipo de sociedades están generalizadas por presentar estructuras jerarquizadas, debido a que están representadas por una parte “seleccionada” de ellas mismas. En contrasentido las sociedades “modernas funcionalmente diferenciada” son representadas por la ausencia de jerarquía y de control de un centro u orden jerárquico. Acentuando que esto no niega que, en las sociedades modernas, no existan órdenes de obediencia o de disconformidades, sino que estos efectos no resultarán directamente desde la estructura primaria de la sociedad, para Urteaga (2010, p. 308), una función deja de depender estructuralmente de su relación con las demás funciones.

Por tanto, si el sistema social está moldeado por la comunicación, la evolución hacia la diferenciación depende de la producción de significados de las palabras y expresiones (semánticas) propias y autónomas, esto se evidencia en la aparición de secuencias de comunicaciones propias y únicas de cada subsistema. Las expresiones semánticas de cada subsistema complementan el hecho de que cada agrupación también observa la sociedad a partir de su propia función.

Cada subsistema determina su orientación en el sistema bajo las propiedades de su observación, desde esta base estructura principalmente puntos de referencia y de discurso básico que propicia una distinción binaria y que no admite interferencias en la realización de su función o código.

“Así, por ejemplo, el sistema científico tiene como código la distinción verdad/ falso, mientras que el sistema jurídico hace la distinción entre lo legal y lo ilegal. Cualquier información de un sistema es tratado a través de este código. Cada sistema funcional selecciona en función de sus propias dis-

tinciones. Por ejemplo, el sistema económico no deja lugar a ninguna orientación por parte de la ciencia... Distinguiendo los principales subsistemas según sus funciones respectivas, se puede analizar la lógica que los mantiene unidos y separados” (Urteaga E, 2010, p. 308 y 309).

El caso del arte permite dar cuenta de la amplitud del proceso de desvinculación del sistema con respecto a su entorno. Para Luhmann el arte sirve como descripción ejemplar del proceso de desunión y diferenciación de los subsistemas. El sistema artístico es comunicación, lo que no significa que se autono- miza con el desarrollo de una comunicación sobre el arte, sino que el arte es un equivalente funcional del lenguaje, incluso cuando emplea los textos como medio artístico. La observa- ción de obras de arte sólo funciona si el observador descodi- fica la estructura de las distinciones de la obra y deduce de todo ello que el objeto debe su existencia a la intención de transformar la información (Luhmann N. 1995, p. 70). La obra de arte transporta información no solamente en sí misma sino en relación con las demás obras similares que forman a todo el subsistema y que le permiten la persistencia de su pro- pia comunicación. Como síntesis a este ejemplo, el subsistema artístico comunica gracias a las obras de arte. La comunica- ción propia de un subsistema como el arte será extraña y um- brosa a la comunicación que en contraparte se genera y trans- ita en otros subsistemas como el económico, político, deportivo o religioso.

Teoría de la sociedad según Luhmann

El interés y objeto principal de estas investigaciones sobre los sistemas sociales está encausado principalmente al entendido de una sociedad moderna, donde la complejidad de su natu- raleza a partir de sus múltiples interacciones de acrecentó du- rante el siglo XX debido, entre otras cosas, a la comunicación.

“Al respecto señala: Qué, no todo lo que se puede observar en el hombre (admitiendo que se puede observar algo) pertenece a la sociedad, la sociedad no es el conjunto que rodea o contiene al hombre. La sociedad no pesa lo mismo que el total de hombres, y no cambia su peso por cada uno que nazca o por cada uno que muera”. (Luhmann, 1993, p. 32).

La sociedad no se reproduce por el hecho de que las células del hombre se transformen. “La sociedad no vive” y tampoco se puede considerar que los procesos neurofisiológicos sean como los procesos sociales, los que de por sí son inaccesibles a la conciencia humana. He aquí el gran rompimiento de Luhmann con toda la tradición sociológica: El hecho de que, a pesar de todas estas evidencias, persista el aferrarse a un concepto humanístico de sociedad, es decir, a un concepto que tiene su referencia esencial en el hombre, quizá esté condicionado por el temor a quedarse sin una medida para evaluar la sociedad y, por lo tanto, sin el derecho a pretender que la sociedad se haya de organizar de modo humano. Aunque así fuera, sería necesario establecer antes que nada qué produce la sociedad a los hombres y por qué sucede esto (Luhmann, 1993, p. 33).

Por lo tanto, estas investigaciones (de Luhmann) buscan dar paso a un concepto de sociedad radicalmente antihumanístico y radicalmente antirregionalístico. Consecuentemente desde esta plataforma de postulados no se niega que haya individuos en una sociedad y no se ignoran tampoco las grandes diferencias que marcan las condiciones de vida de cada región del globo terrestre. Pero estos postulados decididamente renuncian a derivar desde estos hechos un criterio para la definición del concepto sociedad.

Por lo tanto, la sociedad será comprendida como un sistema comunicativo de códigos autogenerados y en cambio constante. Para este entendimiento, Luhmann distingue tres niveles de análisis de la sociedad: Primeramente, la *Teoría General de Sistemas*, y en ella la teoría general de los sistemas autopoietí-

cos. Subsecuentemente se ubicará la teoría de los sistemas sociales. Y, por último, la teoría del sistema de la sociedad como caso particular de la teoría de sistemas sociales (Luhmann, 1993, p. 43).

La teoría general de los sistemas autopoieticos pretende, que se muestre con exactitud la operación que realiza la autopoiesis del sistema y de ese modo delimita al sistema con respecto a su entorno. En el caso de los sistemas sociales, esto sucede mediante la comunicación. Para Luhmann, la comunicación tiene todas las propiedades necesarias para la autopoiesis del sistema: es una operación genuinamente social y la única genuinamente cómo tal. Por lo tanto, en el entendido social de Luhmann, la sociedad se ve unida desde la comunicación social y no desde los hombres.

Subsiguiente, la comunicación es una operación social porque presupone la concurrencia de un gran número de sistemas de conciencia, pero, precisamente por eso como unidad, no puede ser imputada a ninguna conciencia sola. Es social porque de ningún modo puede ser producida solamente por una conciencia común colectiva, es decir que, en ninguno de los casos puede llegar al consenso de un solo acuerdo completo, sin embargo, la comunicación funciona. Esto generaría un principio autopoietico, en la medida en que puede ser producida sólo en un contexto recursivo con otras comunicaciones y, por tanto, sólo en una trama a cuya reproducción concurre cada una de las comunicaciones (Luhmann, 1993, p. 45).

Por consiguiente, los sistemas sociales están formados por comunicación, entendida como intercambio de códigos que permiten la puesta en operación de un contacto entre las conciencias individuales. La comunicación constituye una operación sistemática de carácter social que implica, al menos, dos socios cuyas acciones solo pueden ser constituidas por la propia comunicación. Desde este postulado luhmanniano, la comunicación produce y reproduce la sociedad, así como la expresión sistema social hace referencia a la sociedad en su

conjunto y en la medida en que reproduce la comunicación por la comunicación.

Para Luhmann, el procedimiento de comunicación es un procesamiento que lleva a la síntesis de una información, de un enunciado y de una comprensión. Así, la información en este contexto se podrá definir como un compendio de conceptos que logra crear una distinción y una diferencia en un acontecimiento posterior, por lo tanto, la información es una distinción que crea sentido y que a su vez puede ser ensamblada a otra más. En relación a lo anterior, para Bateson (1972, p. 272) la comunicación solo se produce cuando alguien mira, escucha, lee y comprende lo suficiente -de la información- como para que la comunicación pueda producirse. Otra forma de comunicación relevante dentro del sistema es el anuncio como formato de comunicación, basado en Luhmann, Urteaga (2010, p. 307) propone en cuanto al anuncio como forma de comunicación, que se distingue de la información por su manera de responder a la necesidad y de no hacer depender la continuidad de la comunicación, de la pertinencia y de la calidad de la información. En consecuencia, los diferentes procesos de comunicación dentro del sistema social no están necesariamente obligados a su efectividad y éxito, sin embargo, esto no constituyen una salida del sistema, sino que se integra y forman parte del proceso. No obstante, el sistema social, que se extiende al conjunto de las comunicaciones de la sociedad mundial, no está exento de diferencias.

Autopoiesis y auto-referencia.

El concepto de autopsiéis fue publicado originalmente por los biólogos chilenos Humberto Maturana y Francisco Varela a comienzos de la década de 1970, para explicar el proceso de reproducción de los seres vivos, estos autores también denominaron la idea como la organización de lo vivo. Pero Luh-

mann (1982) utilizaría una década más tarde la idea de autopoiesis para explicar su teoría de la comunicación, como elemento que constituye primordialmente a los sistemas sociales. Maturana y Varela establecieron críticas sobre el trabajo de Luhmann en el sentido de lo inapropiado que era el uso del concepto de autopoiesis para la explicación de fenómenos no biológicos como es el caso del sistema social. En contraposición a la idea Luhmanniana, Maturana aclara y precisa que el concepto de autopoiesis desde la biología del conocimiento sería la descripción de las células que existen directamente como sistemas autopoieticos moleculares y que se estructuran como un sistemas de primer orden, en tanto que serían de segundo orden los propios organismos establecidos y añadidos por medio de las células, y serían sistemas de tercer orden colectividades que son agregadas de los organismos, como por ejemplo, familias, colmenas, colonias y sistemas sociales. A partir de lo anterior se establece que: “Estos sistemas autopoieticos de orden superior se realizan a través de la realización de la autopoiesis de sus componentes” pero que, en el caso de los sistemas sociales, “lo que los define como tales no es la autopoiesis de sus componentes, sino la forma de relación entre los organismos que los componen” (Maturana y Varela, 2004, p. 19).

Los autores establecen por medio de la Autopoiesis, una frontera entre lo biológico y lo social. En su artículo “Autopoiesis, acción y entendimiento comunicativo” (1978), Luhmann desarrolla la idea de que los sistemas sociales son sistemas autorreferenciales autopoieticos, porque están constituidos por elementos producidos por los propios sistemas de los cuales estos elementos son componentes.

Desde la visión Luhmanniana, el concepto de autopoiesis implica, en primer lugar, que los contornos (fronteras) de un sistema estarán producidos por sus propias y oportunas operaciones. Por lo tanto, la identidad sistémica es una identidad basada y propiciada por actos y solo podrá estar constituida

desde las operaciones que generan distinción al entorno y que dibujan permanentemente el contorno de la misma identidad. Un sistema autopoietico es un proceso que se construye y disuelve continuamente, de modo que sea imposible descomponerlo en elementos simples propicios de una visión reduccionista y analítica convencional. Subsecuentemente el sistema se enfrenta al problema de su permanencia, lo que lo lleva a elaborar cuestiones de saber cómo seguir y cómo hacer para que una operación suceda a otra de manera habitual. El sistema elabora reproducciones autopoieticas que no son de ninguna manera repeticiones idénticas de lo mismo sino la instauración constante de nuevos elementos vinculados a los anteriores.

Debido a lo anterior, un sistema necesita desarrollar estructuras que le permitan asegurar y regular la reproducción de sus elementos. “Una estructura consiste en la selección de posibilidades restringidas de puesta en relación de elementos, de modo que la incertidumbre inducida por el futuro se encuentre reducida” (Luhmann, 1984, p. 384).

Como resultado de la elaboración de estas operaciones autopoieticas, el sistema será relativamente incapaz de alcanzar su entorno en su totalidad, por lo tanto, esto no conlleva un cierre absoluto ante el medioambiente y esto permite que el propio sistema realice regulaciones y selecciones permanente de los recursos propios del contexto, estableciendo lo que es adecuado para él en su entorno y ante lo cual reacciona. Lo anterior será una optimización de la complejidad del sistema y se ejecuta por medio de este proceso un método de control para su sobrevivencia. Siempre un sistema percibirá y utiliza en su entorno lo que les es pertinente.

Por consiguiente, los sistemas autopoieticos serán autónomos hacia la creación de identidades y de diferencias propias, ellos mismos son encargados de trazar sus procesos más íntimos, es necesario aclarar que no crean por sí mismos un mundo

material pero sí son actores activos en conjeturar otros niveles de realidad.

En cuanto al concepto de Luhmann llamado *autorreferencia del sistema* será equiparable a la conceptualización de *autonomía sistémica*, puesto que en la totalidad de los acontecimientos que pasa con los seres vivos, se refiere sólo a ellos mismos y sucede como una continua realización de sí mismos, operando como entes autorreferidos.

Desde esta perspectiva, la continua realización de sí mismos parece ser el pulso motivacional para dar sentido a la vida. Maturana y Varela (1995) sostienen que el sentido de la vida y el vivir, no tiene sentido fuera de sí misma, en tanto que el sentido de los seres vivos es su propio vivir como tales, es decir la continua realización de sí mismos.

El término de *autorreferencia*, aunque es propio de estudios de los años setentas por parte de Maturana, no está descontextualizado de la antigua discusión sobre las bases de la teoría de sistemas. En la década de 1930, el biólogo Ludwig Von Bertalanffy desarrolló la teoría de los sistemas abiertos donde postula que los seres vivos son sistemas abiertos y totalidades procesadoras de energía, negando una autonomía, pero Maturana en contraparte asevera que los sistemas son unidades discretas y autónomas, sobre esto especifica: Que la forma de ser autónomo de un ser vivo estaba en el hecho de que todos los aspectos del operar de su vivir tenían que ver sólo con él, y que este operar no surgía de ningún propósito o relación en la que el resultado guiase el curso de los procesos que le daban origen (Maturana y Varela, 1995, p. 12).

Por lo tanto, desde una visión de la biología del conocimiento (Maturana y Varela, 1972), el concepto de autoreferencia indica la unidad que un elemento, un proceso o un sistema, es para sí mismo, es decir independientemente de los cortes que pueden ser realizados por la observación de los demás. El concepto contiene también la idea de que la unidad sólo

puede venir de una operación, que debe estar producida, que no preexiste y que está vinculada a un individuo, una sustancia o una idea de su propia operación (Luhmann, 1984, p. 36).

En consecuencia, Luhmann retoma para los sistemas sociales esta idea de autorreferencia y la vierte como una neutralización de todos los antecedentes y condiciones de pertenencia a un dominio que no se fundamenta en este ámbito. Es decir, la comunicación de una unidad no está programada desde el exterior, sino que refiere siempre a los valores operacionales del interior.

Para explicar lo anterior se pueden retomar de capítulos precedentes donde se explica el ejemplo que Luhmann (1995, p.70 -71) expone sobre el arte, donde plantea el autor que incluso objetos pertenecientes a un ámbito doméstico, serían dignos de convertirse en objetos artísticos. Es suficiente que formen parte de una comunicación en el seno del sistema artístico para beneficiarse de un estatus de objeto de arte y no necesitan referirse a la trascendencia. Para un claro ejemplo de lo anterior podríamos ejemplificar piezas de ruptura en el mundo del arte como los conocidos *Readymade* (conocido como arte prefabricado o remanufacturados) del autor francés Marcel Duchamp. Los *Readymade* consistían en piezas de uso cotidiano expuestas como arte y que se justificaron como tal a partir de irrumpir como piezas artísticas en un contexto de exposiciones y especialistas en la sociedad del arte que acabaron por validar la singularidad de estos objetos no propicios de una ejecución artística convencional.



Seguramente la pieza más conocida de esta serie de *Readymade* es el mingitorio firmado por el artista y titulado *Fountain* (La fuente) 1917. Marcel Duchamp. Fuente: <https://periodistas-es.com/la-fuente-de-marcel-duchamp-cumple-cien-anos83853-83853>

Clausura operacional y acoplamiento estructural

Cuando se habla de clausura operacional de un sistema no deberá entenderse como un aislamiento hacia el entorno, solamente se tendrá que referenciar a una cerradura de cuestiones operacionales del propio sistema, donde las operaciones propias del sistema se vuelven recursivamente posibles por los propios resultados de las operaciones del sistema.

En consecuencia, si se prosigue bajo la teoría general de Luhmann se tendrá que describir a la sociedad como un sistema autopoietico operacionalmente cerrado, bajo la premisa de que este sistema se corresponde y se expresa solamente por sí mismo y para sí mismo sin contacto con el entorno. Puesto que, como mencionábamos anteriormente en el plano de las operaciones propias del sistema, no hay ningún contacto con

el entorno, aún y cuando estas operaciones sean solo observaciones u operaciones. Así, cada observación sobre el entorno debe realizarse desde el mismo sistema como actividad interna, mediante distinciones propias (para las cuales no existe ninguna correspondencia en el entorno). De otra manera no tendría sentido hablar de observación del entorno (Luhmann, 1993, p. 49).

La clausura operacional del sistema genera por lo tanto una dinámica constante de operaciones propias de auto-estructuración que le permitan construirse y transformarse, esto indudablemente genera una tendencia a la permanente autoorganización.

De esta manera, en los *sistemas autorreferenciales autopoieticos*, el sistema produce sus propias unidades o elementos componentes y su propia estructura. Señala Agúero (2010, p. 8), que en esto Luhmann se diferencia de las teorías —convencionales— de la autoorganización, que sostienen que los sistemas crean sus propias estructuras, pero no los elementos disponibles, y también de la *teoría de los sistemas abiertos*, basados en *inputs* de elementos del entorno que el sistema transforma en *outputs*. En cambio, para Luhmann en los *sistemas autopoieticos*, hay *clausura circular interna*, como condición imprescindible para la continuidad autorreproductiva del sistema. La clausura permite la autoproducción de los elementos y de la estructura y esto, a su vez, de manera autorreferencial, permite la autorreproducción del sistema.

Asimismo, en correspondencia con estas ideas, los *sistemas autorreferenciales autopoieticos* no cuentan con propiedades teleológicas, pues no tienen causalidad ni finalidad, tal como tradicionalmente se entienden estos términos. Lo único que puede afectar a estos sistemas es la decisión de continuar o no con la autorreproducción del sistema. Esta decisión depende del mismo sistema y no de alguna causa externa al mismo. Para Luhmann, de acuerdo con Agúero (2010, p. 9), estos sistemas (*autorreferenciales autopoieticos*) desarrollan tres operaciones auto-

poiéticas fundamentales: la vida, la conciencia y la comunicación. Estas operaciones corresponden a los tres tipos de sistemas que se incluyen en su teoría: los sistemas orgánicos, los sistemas psíquicos y los sistemas sociales.

Como ejemplo a lo anterior, bajo la afirmación que para Luhmann la sociedad es básicamente comunicación. Arriaga (2003, p. 16) manifiesta que el entorno es realizado por las conciencias de los hombres formando el entorno, el cual hace la diferencia respecto del sistema. El entorno solamente irrita al sistema, el cual “tolera” al entorno en cuanto que sin él no sería lo que es. Es decir, la sociedad se forma por códigos comunicables y no por seres humanos. Los hombres son el entorno del sistema.

Imaginemos, desde una visión dentro del sistema se estará incluido en algo que forma algo externo. Desde esta observación se desprende la reflexión sobre cómo será posible que el sistema establezca y mantenga límites que presuponen un proceso continuo que desconoce y que todo el tiempo está reconociendo nuevos límites sin respetar a sus antecesores. Será necesario cuestionarse cómo logra el sistema establecer estos procesos si no tiene contacto con el entorno, para remediar esto Luhmann (1993, p. 51-52) cita a Maturana para responder de la siguiente manera: -sobre el *acoplamiento estructural*- este concepto presupone que todo sistema autopoietico opere como sistema determinado por la estructura, es decir, como un sistema que puede determinar las propias operaciones sólo a través de las propias estructuras. El acoplamiento estructural, entonces, excluye el que los datos existentes en el entorno puedan especificar, conforme a las propias estructuras, lo que sucede en el sistema. Maturana diría que el acoplamiento estructural se encuentra de modo ortogonal con respecto a la autodeterminación del sistema. No determina lo que sucede en el sistema, pero debe estar presupuesto, ya que de otra manera la autopoiesis se detendría y el sistema dejaría de existir. En este sentido, todos los sistemas están adaptados

a su entorno (o no existirían), pero hacia el interior del radio de acción que así se les confiere, tienen todas las posibilidades de comportarse de un modo adaptado.

Luhmann especifica que el medio ambiente sólo puede influir sobre el sistema mediante la producción de irritaciones, que son procesadas internamente, por lo tanto, las irritaciones sólo pueden ser construcciones internas que resultan de entre la confrontación y comparación de la estructura con los sucesos del entorno. La irritación nunca es un proceso *a priori* del entorno, no existe en el medio ambiente, en realidad la irritación siempre será una auto-irritación del propio sistema como respuesta a su impulso de sobrevivencia en el medio. La irritación del sistema surge directamente desde los sucesos del medio ambiente.

Para establecer una relación de acoplamiento estructural, el sistema permanentemente construye estructuras con expectativas a sensibilizarse para determinadas irritaciones. Para Leon, Herrera y Lozano (2016, p. 33) un ejemplo claro de acoplamiento estructural es posible desde el sistema político, sistema desde donde no se pueden observar las comunicaciones que se producen en el sistema económico (porque aquel opera con el código *Poder/Oposición*, mientras que éste lo hace con *Pago/No Pago*), pero puede crear estructuras de irritación, utilizar por ejemplo el PBI o el déficit fiscal e interpretar sus valores como relevantes para la comunicación política (obtención/manutención del poder).

Por lo tanto, desde la visión de Luhmann, el acoplamiento estructural será una comunicación imposible de pronosticar y sin causa específica entre un sistema y su entorno, siendo este formato el único tipo de relación posible entre ambos. Como mencionábamos anteriormente, el acoplamiento estructural se vuelve relevante en la visión de Luhmann por ser el concepto que intenta solucionar el dilema que le propone la autopoiesis.

Hasta aquí establecemos el entendido sobre lo que consideramos los principales conceptos Luhmannianos que distinguimos como anclajes para dar forma a un preludio sobre las tareas teóricas que estableció Luhmann desde su particular visión de los sistemas.

Lo simple y lo complejo

Hay un pozo muy hondo por alguna parte. Pero nadie sabe encontrarlo.

Si alguien se cae dentro, está perdido.

—Pues sí, está perdido. ¡Catapún! Y se acabó.

—¿Y eso ocurre?

Haruki Murakami

Aunque existen múltiples aparatos teóricos sobre la complejidad y los sistemas, estos conceptos pueden ser difíciles de establecer certeramente. Para autores como Nicolis y Prigogine (1989, p. 5) la distinción entre “simple” y “complejo” no es tan nítida como podríamos pensar intuitivamente. Muchos sistemas podrían parecer simples, pero revelan una complejidad notable cuando se examinan de cerca, por ejemplo, una hoja, una colmena o un hormiguero. Otros parecen complejos, pero se pueden describir simplemente (en la descomposición de sus partes), por ejemplo, algunas máquinas, como el motor de combustión interna (Cilliers, 1998). Esta identificación se podría volver aún más complicada, debido a que la complejidad no se encuentra en un sitio específico o identificable en un sistema. Diferentes investigadores y científicos teorizan sobre las proximidades de lo simple y lo complejo. Para autores como Serra y Zanarini (1990, p. 5), la distinción entre complejo y simple a menudo se convierte en una función de nuestra “distancia” del sistema, es decir, del tipo de descripción del sistema que estamos utilizando. Para Cilliers (1998), un acuario pequeño visto a la distancia puede ser bastante simple, pero como sistema y observándolo a detalles puede ser bastante complejo. Lo simple y lo complejo a menudo se disimulan y se confunden. Sin embargo, esto no implica que la complejidad sea escuetamente una función de nuestra descripción del sistema. Los sistemas complejos tienen características que no están meramente determinadas por el punto de vista y la subjetividad del observador.

Para Cilliers (1998), una substancial distinción para poder definir un sistema como complejo, es la que se encuentra, entre la complejidad y lo complicado. Algunos sistemas tienen una gran cantidad de componentes y realizan tareas sofisticadas, pero se pueden analizar con alta precisión desde la visión reduccionista de sus partes, bajo esta premisa este sistema sería complicado. En contraparte un sistema complejo siempre debería estar intrínsecamente constituidos por relaciones no lineales y ciclos de retroalimentación, en donde sólo ciertos aspectos de ellos pueden analizarse a la vez, un sistema complejo siempre tendera a causar distorsiones.

Para autores como Heylighen (1989), Cilliers (1998), Joslyn (2001), los sistemas complejos generalmente están asociados con los seres vivos: una bacteria, el cerebro, los sistemas sociales, el lenguaje, pero esta distinción cada vez se observa más difusa debido a los nuevos adelantos en el ámbito de la computación, tecnología y sistemas de inteligencia artificial. Como observamos en los apartados anteriores existe una fuerte tendencia desde los diseñadores de inteligencia artificial para manifestar que la complejidad también está interpuesta en sistemas de simulación e inteligencia artificial. Esto ha complicado más el identificar dónde y por qué sería propicio estudiar un fenómeno bajo las premisas de la complejidad y lo sistémico. También cabe acentuar que muchas de las veces no existen aún tecnología o protocolos que puedan de forma certera determinar niveles de complejidad dentro de un sistema artificial.

Para Paul Cilliers, la identificación de lo complejo y lo simple se vuelve un tema muy relevante y por lo tanto realiza en su documento *Complejidad y Posmodernidad* (1998, p. 3-4) diez características centrales de lo que según él deberían de ser primordiales para considerar un fenómeno como sistema complejo adaptativo. A continuación, las enlistamos:

1- Los sistemas complejos cuentan con una gran cantidad de elementos.

Cuando el número es relativamente pequeño, el comportamiento de los elementos a menudo se puede dar desde una descripción formal en términos convencionales, lineales y reduccionistas. Sin embargo, cuando el número llega a ser suficientemente grande, los medios convencionales resultan poco prácticos, no permiten la comprensión del sistema.

2- Los sistemas necesitan una gran cantidad de elementos, pero no es suficientes. Para construir un sistema complejo, los elementos tienen que interactuar, y esta interacción debe de ser dinámica y rica en sus intercambios.

Las interacciones no tienen que ser físicas necesariamente; también pueden considerarse interacciones desde la transferencia de información. Contar con gran número de elementos es necesario, pero no suficiente para determinar la complejidad. Los granos de arena en una playa no son un sistema complejo, pues necesariamente deberían interactuar de manera dinámica y no estática. Un sistema complejo cambia con el tiempo.

3- La interacción entre los elementos del sistema deben de ser abundantes, no son “uno a uno”, sino que múltiples.

Cualquier elemento en el sistema influye y debe ser influenciado por algunos otros elementos. Un caso típico de esto serían las redes neuronales del cerebro.

4- Una precondition esencial de la complejidad es que las interacciones sean no-lineales.

La duplicación de un estímulo no significa necesariamente la duplicación de la respuesta. Es por ello que pequeñas modificaciones en una parte pueden en ocasiones detonar grandes cambios en el sistema.

5- Las interacciones generalmente tienen un rango de acción bastante corto, es decir, la información se recibe principalmente de vecinos inmediatos.

Esto no significa que, a través de encadenamientos, las influencias no puedan ser de largo alcance. Por ello, la influencia se modula en el camino, y puede ser amplificadora, reducida, modificada o eliminada de diversas maneras.

6- Bucles de retroalimentación en las interacciones que se da entre los elementos (feedback loops).

El efecto de cualquier actividad genera retroalimentación al elemento mismo, a veces directamente, a veces después de una serie de etapas intermedias. Esta retroalimentación puede ser positiva y, por lo tanto, realzar o estimular comportamientos e interacciones o negativa para, detractor e inhibir. Ambas polaridades son necesarias. Una actividad recibe efectos sobre sí misma, a través de amplificaciones o inhibiciones, y pueden ocurrir directamente o a través de circuitos indirectos. A esto se le llama recurrencia.

7- Los sistemas complejos son abiertos, es decir, interactúan con su entorno. De hecho, a menudo es difícil definir el límite de un sistema complejo.

En lugar de ser una característica del sistema en sí, el alcance del sistema suele estar determinado por el propósito de la descripción del sistema y, por lo tanto, a menudo está influenciado por la posición del observador, a este proceso se llama enmarcar. Es imposible comprender un sistema complejo sin comenzar por entender su multiplicidad de interacciones con el entorno, en cambio, los sistemas cerrados son meramente “complicados”.

8- Los sistemas complejos operan en condiciones alejadas del equilibrio.

Tiene que haber flujo constante de energía para mantener la organización del sistema y garantizar su supervivencia. Aún si están en estado “estable”, es una estabilidad dinámica, y puede cambiar rápidamente. Por ello, hay un constante flujo de energía para mantener la organización y supervivencia del sistema. El equilibrio total, por falta de este flujo de energía, es equivalente a la muerte.

9- Los sistemas complejos tienen una historia.

Los sistemas no sólo evolucionan a través del tiempo, sino que su pasado es corresponsable de su comportamiento actual. Cualquier análisis de un sistema complejo que ignore la dimensión del tiempo es incompleto, o como máximo una instantánea sincrónica de un proceso diacrónico.

10- Cada elemento en el sistema ignora el comportamiento del sistema como un todo, responde sólo a la información que está disponible localmente.

Este punto es de vital importancia. Si cada elemento tuviera toda la información del sistema, eso significaría que toda la complejidad del sistema estaría condensada en cada una de las partes del mismo, esto implicaría una imposibilidad física y de capacidad de información. La complejidad es el resultado de una rica interacción de elementos simples que sólo responden a la información limitada que se les presenta a cada uno de ellos. El comportamiento de un individuo del sistema es completamente diferente en relación al comportamiento del propio sistema complejo como un todo.

Coincidimos en que la revisión de estos cumplimientos propuestos por Cillers podrán de alguna manera dar pauta para considerar el estudio de un fenómeno sobre las bases de la complejidad o de lo contrario desestimarlos y sólo establecerlos como un fenómeno complicado que podría ser descrito desde modelo más cercano al reduccionismo o al mecanicismo.

En las últimas décadas se han acrecentado de sobremanera los estudios titulados desde la complejidad o la teoría de sistemas complejos, se escribe sobre arquitectura, urbanismo, diseño, salud, negocios y demás variados temas, Sin embargo, aunque la línea es aún difusa se necesitaría de pautas más formales para poder designar un estudio bajo la visión de la complejidad. Los instrumentos teóricos que lleven a estudiar la incertidumbre de un fenómeno deberán de contar con revisiones

profundas desde sus interacciones y resultados en un contexto dinámico y multidimensional. Se entiende fundamental una postura filosófica y teórica justificante para un previo de resolución sobre la complejidad de una situación, proceso o fenómeno expuesto.

Bibliografía

- Aristóteles (2009) *Categorías*. Buenos Aires, Argentina: Colihue.
- Arnold, M. (1989) Teoría de Sistemas, Nuevos Paradigmas: Enfoque de Niklas Luhmann. *Revista Paraguaya de Sociología*. Año 26. No.75. Mayo-agosto. Págs. 51-72.
- Arnold, M y D. Rodríguez. (1990) El Perspectivismo en la Teoría Sociológica. *Revista Estudios Sociales (CPU)*. Santiago, Chile. No.64.
- Arnold, M. (1998) Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta de Moebio*. No.3. abril de 1998. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile.
- Armesilla Conde, S. (2013) Sobre el principio de Symploké en El Sofista de Platón y los conceptos conjugados de reposo y movimiento. *E-print Complutense*. Recuperado el 13 de Mayo de 2019 : <https://eprints.ucm.es/23476/>
- Arriaga Álvarez, Emilio (2003). La Teoría de Niklas Luhmann. *Convergencia. Revista de Ciencias Sociales*, 10(32), [fecha de Consulta 21 de abril de 2018]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105/10503211>
- Agúero, Juan Omar (2010). Niklas Luhmann y los sistemas auto-poieticos. *VI Jornadas de Sociología de la UNLP*. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Sociología, La Plata.
- Ashby W. R. (1964) *An Introduction to Cybernetics*. Londres: Methuen.
- Aubenque, Pierre (2017). Aristóteles y el problema de la metafísica. *Logos. Anales del Seminario de Metafísica* 50: 9-19.
- Bateson, G. (1972) *Steps to an Ecology of Mind: A Revolutionary Approach to Man's Understanding of Himself*. New York: Ballantine.
- Beer S. (1972) *Brain Of The Firm, Allen Lane*. Londres: The Penguin Press
- Beni, G., Wang, J. (1989) Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems, *Proceed. NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems*, Tuscany, Italy, June 26–30, 1989.

Bertalanffy Von, L. (1976) *Teoría General de los Sistemas*. México: Fondo de Cultura Económica.

Bosch Sánchez J.M. (2013). Introducción a las Categorías de Aristóteles. [fecha de Consulta 2 de abril de 2018]. Disponible en: <http://filosofiaunderground.blogspot.com/2012/09/categorias-de-aristoteles.html>

Buckley, W. (1973) *La Sociología y la Teoría Moderna de los Sistemas*. Buenos Aires: Editorial Amorrortu.

Bueno, G. (1993) *Teoría del cierre categorial. La gnoseología como filosofía de la ciencia. Historia de la teoría de la ciencia*. Oviedo: Pentalfa Ediciones.

Campbell, D. T. (1974) Downward Causation. *Hierarchically Organized Biological Systems. Studies in the Philosophy of Biology*, En F.J. Ayala y T. Dobzhansky (eds), Nueva York: Macmillan.

Cilliers, P. (1998). *Complexity and Postmodernism. Understanding complex systems*. Londres: Routledge.

Cortés Morató, J y Martínez Riu, A. (1996) *Diccionario de filosofía*. Barcelona: Herder.

De Latil, P. (1953). *La Pensee artificielle - Introduction a la cybernetique. (Artificial thought - Introduction to cybernetics.)* Paris: Gallimard.

De Rosnay J. (1979). *The macroscope: a new world scientific system*. Nueva York: Harper Collins

Dorigo M. (1992) *Optimization, Learning and Natural Algorithms*, (Tesis doctoral), Politécnico de Milano. Italia.

Forrester, J.W. (1968) *Principles of Systems*. Cambridge: Wright-Allen Press.

Gershenson, C (2017) *Pensamiento Sistémico* [fecha de Consulta 4 de noviembre 2018]. <https://es.coursera.org/learn/pensamiento-sistemico>

Gershenson, C. y F. Heylighen (2005). How can we think the complex? in: Richardson, Kurt (ed.) *Managing the Complex Vol. 1: Philosophy, Theory and Application*. p.47-62. Institute for the Study of Coherence and Emergence/Information Age Publishing.

Gibert, J. y Correa, B. (2001) La teoría de la autopoiesis y su aplicación en las ciencias sociales. *Cinta moebio* 12: 175-193 [fecha de Consulta 28 de abril de 2018]. Disponible en: www.moebio.uchile.cl/12/gibert.htm

Giner S. (1990) *Historia del pensamiento social*. Barcelona: Editorial Ariel.

Greene B. (2011) *The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos*. Barcelona: Editorial Crítica.

Greene B. (1999) *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*. New York: Editorial Crítica.

Heylighen F. (1989) Causality as Distinction Conservation: a theory of predictability, reversibility and time order, *Cybernetics and Systems* 20, p. 361-384.

Heylighen F. (1990) Classical and Non-classical Representations in Physics I, *Cybernetics and Systems* 21, p. 423-444.

Heylighen F. y Joslyn C. (2001) Cybernetics and Second Order Cybernetics, en R.A. Meyers (ed.), *Encyclopedia of Physical Science & Technology* (3rd ed.), Vol. 4, p. 155-170. Nueva York: Academic Press.

Heylighen F. (1997) Publications on Complex, Evolving Systems: a citation-based survey, *Complexity* 2 (5), p. 31-36.

Heylighen F. Cilliers P. Gershenson C. (2006) *Complexity and Philosophy*. [fecha de Consulta 4 enero 2019] Disponible en: <http://cogprints.org/4847/>

Iovchuk, Oizerman, Shchipanov (1979) *Compendio de Historia de la Filosofía*. Montevideo: Ediciones Pueblos Unidos.

Johannsen, O. (1975) *Introducción a la Teoría General de Sistemas*. Santiago: Universidad de Chile.

Lara Rosano F. (2002) *Cibernética y sistemas cognitivos*. México: UNAM. [fecha de Consulta 24 de Junio de 2019] Disponible en: http://conceptos.sociales.unam.mx/conceptos_final/586trabajo.pdf

Levi P. (1996) *L'Intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace*. Paris: Editeur La Découverte.

- De León Márquez J., Azpeitia Herrera H., Lozano Guerrero F. (2016) Lo fundamental de los derechos fundamentales. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*. [fecha de Consulta 3 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.re-dalyc.org/pdf/5039/503954317013.pdf>
- Livraga J. (1998) *Magia, religión y ciencia para el tercer milenio*. Valencia: Editorial Nueva Acrópolis.
- Luhmann, N. (1984) *Soziale Systeme: Grundriss einer allgemeinen Theorie* (Sistemas sociales: bosquejo de una teoría general). Frankfurt: Editorial Suhrkamp.
- Luhmann N. y Eberhard S. (1993) *El Sistema Educativo*. México: UIA- U de G- ITESO.
- Luhmann N. y De Georgi R. (1993) *Teoría de la Sociedad*. México: UIA-UdeG-ITESO.
- Luhmann N. (1995) *Poder*. Barcelona: Anthropos - UIA.
- Luhmann N. (1998) *Complejidad y modernidad. De la unidad a la diferencia*, Madrid: Editorial Trotta.
- Luhmann, N. (1999) *Politique et complexité*. Paris: Cerf.
- Maturana H. y Varela F. (1984) *El Árbol del Conocimiento*. Santiago: Editorial Universitaria.
- Maturana, H. y Varela, F. (1992) *The tree of knowledge: The Biological Roots of Understanding*, (rev. ed.). Boston: Shambhala.
- Maturana H. y Varela F. (1995) *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Maturana H. (1990) *Emociones y Lenguaje en Educación y Política*. Santiago: Editorial Hachette.
- Maturana H. (1990a) *Conversando con H. Maturana. Seminario organizado por el Instituto de Terapia Sistémica*. Buenos Aires: Instituto de Terapia Sistémica.
- Maturana H. (1997) *Emociones y Lenguaje en Educación y Política*. México: JC Saez Editores.
- Maturana H. (1997a). *La objetividad. Un argumento para obligar*. Santiago: Editorial Dolmen.

- Marcuello Servos, C. (Comp.) (2006) *Sociocibernética, lineamientos de un paradigma*. Zaragoza; Institución Fernando el católico.
- Mandelbrot B. en Martínez Álvarez, F. (2007). Fundamentos histórico-filosóficos de la Complejidad en la antigüedad. *Humanidades Médicas*, 7(2) [Recuperado en 13 de mayo de 2019.] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-81202007000200007&lng=es&tlng=es
- Mayurama, M. (1963) The Second Cybernetics: Deviation-Amplifying Mutual Causal Processes. En: *American Scientist*. Págs 164-179.
- Olson, E. E., & Eoyang, G. H. (2001). *Facilitating organization change: Lessons from complexity science*. San Francisco, Calif: Jossey-Bass/Pfeiffer.
- Orser, C. (2012). An Archaeology of Eurocentrism. *American Antiquity*, 77(4), 737-755. doi:10.7183/0002-7316.77.4.737.
- Platón (2013) *La República*. Barcelona: Editorial Juventud.
- Prigogine, I. y Stengers, I. (1984) *Order out of Chaos*. Nueva York: Bantam Books.
- Poynton, J. C. (1989) El pensamiento holístico en medicina: escollos y posibilidades. *Medicina holística* 4: 3, páginas 137-144.
- Real Academia de la Lengua Española (2019) Entrada de la palabra “cognoscente”. [fecha de consulta 24 de Junio de 2019] Disponible en: <https://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=cognoscente>
- Rosenblueth A, Wiener N, Bigelow J. (1943) Behavior, Purpose and Teleology. *Revista Philosophy of Science*, Núm. 10, P. 18–24. [fecha de Consulta 21 de abril de 2018]. Disponible en: <http://134.184.131.111/Books/Wiener-teleology.pdf>.
- Rosenblueth A. y Cannon W. (1995) *Fisiología del sistema nervioso autónomo (Physiology of the Autonomous Nervous System)* México: El Colegio Nacional.
- Rosenblueth, A., Wiener, N., & Bigelow, J. (1943). Behavior, purpose and teleology. *Philosophy of Science*, 10, 18-24. <http://dx.doi.org/10.1086/286788>
- Rosenblueth, A. (1950) *The supersensitivity of denervated structures*.

Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.

Taylor, Richard; Rosenblueth, Arturo; Norbert, Wiener (1987) *Controversia sobre la intencionalidad del comportamiento*. México: UNAM.

Samin, Amin (1989) *El eurocentrismo. Crítica de una ideología*. México: Editorial Siglo XXI.

Sampedro J. (2014) La inteligencia del enjambre. Científicos de Boston se inspiran en las termitas para crear cuadrillas de robots que se organizan sin control central. [Recuperado el 12 de Julio de 2019.] Disponible en: https://elpais.com/sociedad/2014/02/13/actualidad/1392310892_460376.html

Sancho Caparrini F. (2019) *Sistemas, Multiagente y Simulación*. [Recuperado el 7 de julio de 2019] Disponible en: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=57>

Schelling, T. (1971) Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2), 143-186. <http://doi.org/10.1080/0022250X.1971.9989794>. Versión digitalizada en https://www.stat.berkeley.edu/~aldous/157/Papers/Schelling_Seg_Models.pdf

Smuts, Jan C. (1926) *Holism and Evolution*. Nueva York: MacMillan.

Toulmin, S. (1944) The importance of Norbert Wiener, *The New York Review of Books*, 3(3).

Turchin V. (1990) Cybernetics and Philosophy, en: *The Cybernetics of Complex Systems*. F. Geyer (ed.), (Intersystems, Salinas, California), p. 61-74.

Turing, A. (1950) *Maquinaria computacional e Inteligencia*. [Recuperado 24 de Junio 2019] Disponible en: <http://xamanez.izt.uam.mx/map/cursos/Turing-Pensar.pdf>

Urrutia J, López H, Sabatini F, Rasse A. (2016) Tolerancia a la diversidad y segregación residencial. Una adaptación del modelo de segregación de Schelling con tres grupos sociales. *Revista EURE*, vol. 43, núm. 130, 2017. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Urteaga E. (2010) La teoría de sistemas de Niklas Luhmann. *Contrastes. Revista Internacional de Filosofía*, vol. XV (2010), pp. 301-317. ISSN: 1136-4076 Departamento de Filosofía, Universidad de Má-

laga, Facultad de Filosofía y Letras Campus de Teatinos, E-29071 Málaga (España).

Varela, F. (2000). *El Fenómeno de la Vida*. Santiago de Chile: Dolmen Ediciones.

Velasco J.J. (2014). *Ramón Llull y el Ars Magna: los orígenes de las máquinas pensantes*. [Recuperado el 24 de Junio de 2019] Disponible en: https://www.eldiario.es/turing/Ramon-Llull-Ars-Magna-pensantes_0_326517940.html

Von Bertalanffy, L. (1973) *General System Theory (Revised Edition)*. Nueva York: George Braziller.

Waissbluth M. (2008) *Sistemas Complejos y Gestión Pública*. Diplomado en Gerencia Pública, y en el Magister en Gestión y Políticas Públicas. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Disponible en: <http://www.dii.uchile.cl/~ceges/publicaciones/99%20ceges%20MW.pdf>


Waldrop, M. (1992) *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. Londres: Viking.

Wiener N. (1961) *Cibernética: O Control y Comunicación en el Animal y la Máquina*. Barcelona: Tusquets Editores.

Wiener, N. (1979) *Cibernética y Sociedad*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.

Se terminó de imprimir en el mes de octubre de 2019 en los talleres de Editorial Labyrinthos; se usó la familia tipográfica: Garamond en 22, 18, 12, 11, 10, y 8 puntos.

El tiro consta de 1000 ejemplares. Primera edición octubre de 2019.



En el presente texto se pretende lograr la creación de un aparato teórico que describa una potencial y operativa ruta cronológica y conceptual de entre las bases originales que dieron pie al entendido de la complejidad y lo sistémico. Es copiosa la información que existe sobre la temática, por lo tanto, hemos intentado crear este itinerario de forma puntual para que permita a los lectores crecer en su interés hacia nuevas posibilidades en este tema.

El principal producto que se intenta generar con este libro es la creación de condiciones para llevar el denso aparato teórico de la complejidad hacia las instancias contemporáneas del conocimiento académico o profesional en las ciencias y artes del diseño.

El libro está escrito por un investigador del diseño, pero como el mismo autor apunta, el texto no es un libro de diseño; pero sí es un trabajo donde queda documentada la principal intención de crear herramientas conceptuales para los diseñadores contemporáneos (arquitectos, urbanistas, diseñadores, investigadores y estudiantes del área) y para cualquier persona interesada en los nuevos paradigmas científicos de la complejidad, la adaptación y la sistematización.

Gerardo Vázquez Rodríguez es profesor e investigador de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Doctor en Artes por la Universidad Autónoma de Barcelona, miembro del Sistema Nacional de Investigadores, se interesa en los estudios del diseño desde el paradigma de la complejidad y lo imaginario. Editorial Labyrinthos ha publicado obra de su autoría, así como otros sellos editoriales en México y en el extranjero.

ISBN 978-607-97767-6-3



LABYRINTHOS