

# LOS DIEZ CONCEPTOS BÁSICOS PARA ENTENDER LA TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD Y SUS IMPLICACIONES EN LA GESTIÓN DE LAS ORGANIZACIONES

Luis Arturo Rivas Tovar (9)  
Instituto Politécnico Nacional -ESCA Santo Tomás

## ABSTRACT

This paper briefly describes the nature and the basic principles that allow us to understand the complexity theory perceived as a set of disciplines. Using the analytical method are briefly described and explained these 10 basic concepts are: non-linearity, chaos, strange attractor, self organization coevolución, emergency networks, hierarchy, autopoiesis and complex adaptive systems. The aim of this work lies in its clarity and simplicity with which it addressed an issue that is often unmanageable and diffuse.

**KEY WORDS:** Theory, implications, organizational management, complex adaptive system.

## RESUMEN

Este artículo describe brevemente la naturaleza y los principios básicos que permiten entender la teoría de la complejidad percibida como un conjunto de disciplinas. Aplicando el método analítico son descritos y explicados brevemente 10 conceptos básicos estos son: La no linealidad, el caos, atractor extraño, la auto organización la coevolución, la emergencia, las redes, la jerarquía, la autopoiesis y los sistemas complejos adaptativos.

La aportación de este trabajo radica en su claridad y la sencillez con la que es abordado un tema que resulta frecuentemente inmanejable y difuso.

**PALABRAS CLAVE:** teoría de la complejidad, implicaciones, gestión de organizaciones, sistema adaptativo complejo.

(9) Doctor en Ciencias Administrativas por el Instituto Politécnico Nacional y Doctor en Estudios Europeos por el Instituto Ortega y Gasset de España. Profesor-investigador de la Escuela Superior de Comercio y Administración del IPN y profesor invitado de la Universidad Politécnica de Madrid. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

## INTRODUCCIÓN

El origen de la palabra complejidad como gran parte del léxico científico occidental proviene de la palabra griega plektós que significa “retorcido”. La palabra evolucionó con el tiempo y en latín es *Complexus* que significa trenzado conjunto. De manera popular complejo es “algo difícil de entender”. (Flod – Carso 1993).

Según el Instituto Santa Fe, -que es el centro de investigación referente al estudio de la complejidad a nivel mundial- la complejidad se refiere a la condición del universo el cual esta integrado y es demasiado rico y variado para ser comprendido por mecanismos lineales simples. Podemos entender muchas partes del universo en múltiples formas pero los más intrincados fenómenos solo pueden ser comprendidos por principios y patrones pero no al detalle. La complejidad tiene que ver con la naturaleza de la emergencia, la innovación, el aprendizaje, y la adaptación. (Grupo Santa fe 1996).

La teoría de la complejidad epistemológicamente debe ser entendida como un cuerpo teórico conjunto, con explicaciones tanto causales como funcionales, aunque en ocasiones (como en el caso de las redes celulares en la genética) resulten ser paradójicas.

Debido a que los sistemas complejos tienen una naturaleza imprevisible, es difícil definir la complejidad en términos usuales.

Para los fines de esta investigación entenderemos complejidad como:

***El estudio de los principios y las pautas que explican el comportamiento de un fenómeno natural o social desde la perspectiva de la totalidad***

Uno de los aspectos más estimulantes del estudio de la complejidad es que no es un bloque teórico unidisciplinar sino que abarca de distintos campos del conocimiento.

Según (Mason 2001) es incorrecto hablar de la teoría de la complejidad porque en realidad son varios cuerpos de conocimiento de los que se nutre como son. La metrología, la física, la química y las matemáticas. Es más adecuado hablar de teorías de la complejidad. Aunque esto es cierto también lo es que los paradigmas dominantes hacen confuso usar la

denominación sugerida por Mason por lo cual y consciente de causa hablaremos a lo largo de este artículo de la teoría de la complejidad en singular.

Entre las ciencias que estudian la complejidad podemos mencionar las siguientes:

La inteligencia artificial, la ciencia cognitiva, la ecología, la evolución, la teoría de juegos, la lingüística, Las ciencias sociales, la vida artificial, la informática, la economía, la genética, la inmunología, la física, la química, la filosofía, la historia y por supuesto la administración. (Battram 2006).

La importancia del estudio de la teoría de la complejidad radica en que esta se ha ido incubando con los años, podríamos decir, siguiendo (Kaufman 1993) que inicia con la revolución newtoniana donde se busca obsesivamente entender el orden del universo y por lo tanto se desarrollan ciencias como la Física que busca crear modelos simplificados de la realidad. En el siglo XIX con la mecánica estadística, los estudios se centran en la complejidad organizada y en el siglo XX se percibe un renacimiento de la Biología donde aparecen las ciencias de la complejidad organizada para que finalmente en el siglo XXI, se estudien las disciplinas complejas con modelos *coevolutivos* en los límites del caos.

Si bien estudio de la complejidad no es algo nuevo ya que forma parte de la naturaleza y no depende de la arrogancia del científico ya que los hechos ocurren y no requieren la presencia humana, el avance conocimiento humano sobre la naturaleza y su creciente entendimiento sobre distintas disciplinas y la aparición de las computadoras que permiten hacer simulaciones, si han permitido comprender efectos globales que antes no eran vistos ni comprendidos.

En la ciencia tradicional cuando se es capaz de entender y predecir un fenómeno se asume que se domina una ciencia y el fenómeno se da por entendido y explicado, sin embargo este hecho no puede ser aplicado a los seres vivos, a la meteorología, a los sistemas sociales o a la administración, ya que los sistemas complejos cambian permanentemente y por tanto las leyes que los explican se vuelven obsoletas con el paso de tiempo.

Esta discusión sobre el estudio del orden y la complejidad ha derivado en dos grandes grupos de científicos y filósofos. Unos que creen que el avance del conocimiento, la tecnología humana y la ciencia permitirán entender en un futuro las grandes leyes que explicaban la vida y la naturaleza. Y por lo tanto el entendimiento del todo. La comprensión los inescrutables caminos que en el pasado se atribuyeron a Dios.

Y otro grupo de científicos que piensa que el hombre nunca podrá entender a cabalidad lo que ocurre ya que los sistemas mutan constantemente y por lo tanto las leyes que lo explican se vuelven obsoletas.

En cualquier caso, un elemento fundamental de la teoría de la complejidad es el uso de los simuladores y de lo que podríamos llamar el método sintético, el cual busca reproducir la realidad mediante la recreación de las condiciones más que mediante el análisis de los hechos que suele usarse en las ciencias clásicas.

Por lo anterior cabe reiterar que un común denominador de los científicos estudiosos de la complejidad en las distintas disciplinas es el uso de modelos y simulación por computadora.

En el estudio de la complejidad se distinguen dos tipos de complejidad: la rudimentaria y la efectiva.

El primer tipo de complejidad, la rudimentaria ha sido asociado a algoritmos (Gell Mann 1995) Un algoritmo es un proceso lógico de pasos que se siguen para solucionar un problema. Entre más pasos se requieran más complejidad existe en el algoritmo.

El segundo tipo de complejidad, la efectiva, está relacionada con los aspectos no aleatorio de un sistema. Este tipo de complejidad puede caracterizarse como una descripción concisa de regularidades del sistema.

Para entender a cabalidad la diferencia entre esto dos tipos de complejidades (Battam 1995) ejemplifica a un mono que toca alocadamente el teclado de una computadora y escribe algo, y por otro lado un soneto de Shakespeare. En el primer caso hablamos de una complejidad rudimentaria y en el segundo caso de complejidad efectiva. Para entender el poema se requiere conocer el idioma inglés, su significado

y sus metáforas. En el caso del mono hay una complejidad caótica.

En el estudio de la complejidad es también importante diferenciar lo que es complicado, lo caótico y lo complejo.

En el caso de lo complicado No es posible entender pautas pero si entenderse las partes y los subsistemas y a partir de ello entender el funcionamiento del sistema en su conjunto.

En lo caótico. Es imposible entender la operación de los sistemas si bien existe un orden oculto (atractor) que permite identificar pautas sin entender los detalles.

En lo complejo los detalles tampoco se pueden entender pero el todo si es comprensible gracias al estudio de las pautas.

### **Método**

Este trabajo usará el método analítico basado en el análisis documental. Es un ensayo teórico orientado a la difusión de los fundamentos de la teoría de la complejidad y a sus implicaciones en la gestión administrativa.

Para la construcción de estas implicaciones se analizarán los modelos que clasifican la complejidad y varios conceptos imprescindibles para su comprensión tales como: La no linealidad, el caos, atractor extraño, la auto organización la *co evolución*, la emergencia, las redes, la jerarquía, la autopoiesis los sistemas complejos adaptativos posteriormente se analizaran las implicación en la gestión administrativa.

### **Modelos para clasificar la complejidad**

Son distintos los pensadores que han propuesto distintas formas de clasificar la complejidad (Beer 1967,) (Glouberman & Zimerman, 2002) (Batram, 1998) (Batram 1998) y (Allen 1999, Senge 1992 y Lucas, 2002).

La diferencia básica de los distintos modelos está en su enfoque y las categorías de análisis que proponen. Para (Beer 1967) el propósito de clasificar está en entender la estructura del sistema y sus interconexiones. Este autor distingue entre sistemas deterministas y estocásticos.

Y a partir de ellos, diferencia, si son: simples complejos o extremadamente complejos.

Los sistemas deterministas simples normalmente tienen pocos componentes y tienen conductas predecibles, los sistemas deterministas complejos muchos componentes e interconexiones. Los sistemas excesivamente complejos tiene el llamado *caos determinista*. Es decir, sistemas que presenten un orden oculto que solo puede ser percibido con horizontes de tiempo muy grandes.

Un ejemplo de ello (que es objeto de polémicas y controversias), está en los procesos de extinciones de especies.

Según (Lewin 1998) a lo largo de la historia de la vida en el tierra que tiene más de 3800 millones de años y luego de más de 3000 años de "una abrumadora simplicidad biológica" ( p.82). En el periodo cámbrico se genera un espectacular aumento de la diversidad que se ha visto interrumpida por periódicos colapsos mayores y menores que extinguieron el 99.9% de las especies que una vez habitaron la tierra. Pese a esta insignificancia estadística junto con las demás especies que hoy existen, el último período que dura ya unos 600 millones de años, es el que ha generado los modos de vida actuales.

Según Dave – Sepkoski a partir de estudios en los grandes cráteres y los registros fósiles. Las colisiones de asteroides gigantes con la tierra ocurren cada 26 millones de años. (Lewin 1998 p. 96).

Regresando a la clasificación de Beer 1967, existen también tres tipos de complejidad estocástica: *la Simple* que es predecible y tiene pocos componentes e interrelaciones. *La compleja* que es altamente elaborada interconectada y es impredecible y, *la excesivamente compleja* que no puede ser descrita al detalle.

Para Glouberman & Zimerman 2002, el fin del estudio de la complejidad es un problema de comprensión de su estructura y sus productos. Ellos distinguen tres tipos de complejidad: *la simple* donde los problemas son de tipo técnico con un alto grado de certidumbre en sus resultados, *la complicada* que es en realidad una colección de problemas simples con poca interdependencia y pese a ello hay una alta certidumbre es sus resultados, y finalmente *la compleja* que implica a problemas tanto simple como complejos que no son reducibles y cuyos resultados son inciertos.

Para (Batram 1998) el objetivo del modelo es comprender la conducta. Distingue cuatro tipos de complejidad: *la Estática* que puede tener valores mixtos pero que no cambia. El *Orden* que tiene patrones repetitivos que es posible identificar. *La compleja* que se encuentra en el límite del caos y una fase de transición entre el orden y el caos. Y la complejidad caótica que tiene conductas aperiódicas.

Finalmente (Allen 1999, Senge 1992, y Lucas 2002) dicen que la finalidad del modelo comprender el sistema atreves de su estructura y conducta. Este autor distingue cuatro tipos de complejidad: *La estática* que cambia con el paso del tiempo pero que se mantiene en equilibrio y es posible medir con indicadores y estándares, *la dinámica* que supone espacios de tiempos grandes donde se pueden apreciar cambios cíclicos pero donde no hay mucho diversidad, *la implícita* (Evolving) que tiene sistemas implícitos donde el cambio es permanente pero se abre y cierra y los sistemas auto organizados que son sistemas que *co evolucionan* con el medio ambiente y deben ser descritos en relación al medio ambiente que los contiene.

Un resumen de los cuatro modelos se presenta en la tabla no 1.

**CUADRO NO. 1 MODELOS DE CLASIFICACIÓN DE LA COMPLEJIDAD**

Modelos de clasificación de la complejidad

Autor	Beer 1967		Glouberman & Zimmerman 2002	Batram 1998	Allen, 1999 Senge, 1992 Lucas, 2002
Fin del modelo	Entender la estructura del sistema y sus interconexiones		Entender la estructura y los resultados	Entender la conducta	Entender el sistema los modelos estructurales y la conducta
Categorías de análisis	Determinista	Estocástico			
	Simple • Pocos componentes • Conducta predecible	Simple Pocos componentes	Simple • Problemas están basados en cuestiones técnicas • Alto grado de certidumbre en resultados	Estático • Estado inamovible • Valores mixtos	Estático • Estructura mixta e el tiempo • Equilibrio • Eventos en estándares promedio
	Complejo • Componentes e interrelaciones complicados	Complejo • Altamente elaborado e interrelacionado impredecible	Complicado • Colección de problemas simples con poca interdependencia • Alto grado de certidumbre en resultados	Orden • Patrones repetibles  Complejidad • Límite del caos Fase de transición entre orden y caos	Dinámico • Tiempo considerable • El cambio es cíclico • No hay micro diversidad  Envolvente • Sistemas envolventes • Cambio en si mismo • Cambio abierto - cerrado
Excesivamente complejo • Caos determinista	Excesivamente complejo • No puede ser descrito o precisado a detalle	Complejo • Incluye problemas simple y complicados • No reducible • Resultados inciertos	Caos • Conducta aperiódica con poca estructura en el espacio	Auto organizado • Sistemas que co evolucionan con el medio ambiente • Debe ser descrito como relacionado con el ambiente	

Fuente: Elaboración propia a partir de Mena H. 2003

**Conceptos imprescindibles para entender la Teoría de la complejidad**

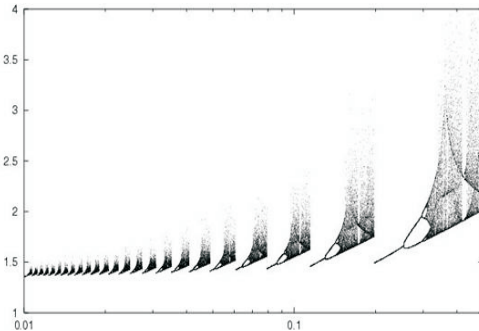
Existen distintos conceptos que son imprescindibles para entender la teoría de la complejidad. Estos conceptos se han venido incorporando desde distintas disciplinas.

Aunque en otros trabajos se han analizado más de veinte conceptos tales como redes geonómicas, paisaje de aptitud, tensión disipativa, mecanismos de adaptación gradiente de entropía, enredo cuántico, caos determinista, autoorganización autopoiesis, perturbación, clausura operativa, acoplamiento, variedad suficiente, multidimensionalidad, bloque de construcción de agentes, procesos de agrupamiento, externalidades de red, leyes de poder y orden, entre otras. (Hernández - Rivas 2008). Existen 10 conceptos que en nuestra percepción son los fundamentales para entender la teoría de la complejidad: La no linealidad, el caos, atractor extraño, la auto organización la co evolución, la emergencia, las redes, jerarquía, la autopoiesis y los sistemas complejos adaptativos mismos que se analizarán a continuación.

**No linealidad**

Una de las bases de la ciencia clásica radica en el principio de linealidad. La segunda Ley de Newton afirma que a toda acción corresponde una acción igual. Este principio no se cumple en los sistemas complejos. Es decir, una acción puede tener consecuencias desproporcionadas. Pequeño cambios generan grandes transformaciones.

**Gráfica No. 1 Bifurcación no lineal de May**



Fuente: Goff 2007

Los sistemas biológicos y sociales están llenos de ejemplos de este tipo. La muerte de un líder opositor, el aumento de precios en el transporte público. La muerte de un estudiante generan transformación que no tiene relación causa - efecto.

En un ensayo sobre la guerra de Irak Goff hace analizar las consecuencias que traería la partición de Irak un caso actual que ejemplifica lo que es la no linealidad.

### Caos

Si bien existe el concepto popular que el caos es un desorden o desconcierto, sin pauta. La moderna teoría del caos explica los límites entre el orden y el caos, fue desarrollada por matemáticos (Henri Poincaré - Charles Sanders) y es una de las grandes aportaciones de la física contemporánea. Permite identificar dentro de las conductas irregulares e impredecibles ciertos patrones de un orden que se oculta. Este orden se ha denominado Atractor extraño. (Ruelle - Takens 1974).

El moderno concepto de caos fue usado por primera vez en 1974 por el biólogo Robert May en su investigación *Biological populations with non overlapping generations: Stable points, stable cycles, and chaos* (May 1974).

May aplicó los conceptos matemáticos consolidados en la Física Teórica al campo de la Biología, en 1973 publicó el libro "Stability and Complexity in Model Ecosystems" (Estabilidad y Complejidad en los Modelos de Ecosistemas) en el cual utilizó modelos matemáticos para investigar la estabilidad y complejidad de una comunidad de plantas y otra de animales que obraban reciprocamente.

Contrariamente al conocimiento general que las especies son motivadas a una mayor estabilidad en sistemas complejos, él demostró en dinámicas de población que especies individuales son motivadas a mayores fluctuaciones en abundancia en tales ecosistemas cuando el número de especies aumenta y las interacciones de las especies se agregan aleatoriamente.

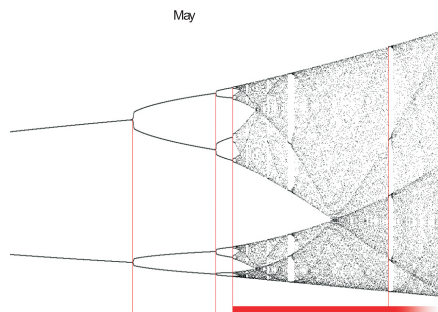
Robert May fue el primero en descubrir que las ecuaciones diferenciales de primer orden pueden exhibir un arsenal asombroso de comportamientos dinámicos, extendiéndose de

puntos estables a "caóticos". Aunque la teoría del Caos fue descubierta en forma aparte casi al mismo tiempo, Robert May la incluyó en su libro citado y en un artículo publicado en Nature en 1976. La importancia del descubrimiento de May es que él se interesó por lo que ocurría por arriba del punto de acumulación. La mayoría de los biólogos (como los físicos en general) preferían no seguir más allá porque el mapa se comportaba de una manera errática, extraña, no parecía tener sentido. Los matemáticos habían estudiado la duplicación de período, y muy recientemente, habían encontrado un resultado sorprendente respecto a las órbitas periódicas, pero las matemáticas teóricas estaban muy disociadas de las ciencias experimentales, y no se le había dado la importancia debida.

May las revisó como biólogo. Encontró que más allá del punto de acumulación existen comportamientos poblacionales no periódicos, pero predecibles. Su objetivo era demostrar que aún modelos matemáticos muy sencillos exhibían comportamientos muy complejos. Y que esta podía ser la llave para el entendimiento de la complejidad en la naturaleza.

En la gráfica 2 puede verse el comportamiento global de  $f(x)=ax(1-x)$ . El eje horizontal representa los valores de  $a$  desde 2 a 4, el vertical representa los valores de  $x$  después de 100 iteraciones. Las áreas claras son las secciones donde el mapa es estable y cae en un comportamiento estacionario o periódico (las ramificaciones son las duplicaciones de período) Las áreas densas son los comportamientos no periódicos. Comienzo de la "dinámica caótica" en Biología.

**Gráfica No. 2 Bifurcación caótica**



Fuente: May R. 1974

El ejemplo del montón de arena suele ejemplificar un sistema caótico. Cuando de alguna manera se añade más arena a un montón de arena llega el momento que de repente se viene abajo. El sistema entra en caos. El montón de arena se reorganiza y llega este estado crítico sin ninguna intervención externa. Después del caos viene un nuevo orden.

El caos es una parte de la teoría de la complejidad y es en términos sistémicos un subsistema de los fenómenos complejos. La conducta caótica por tanto, es solo un comportamiento posible entre los sistemas dinámicos complejos que permanentemente se debaten entre orden y caos.

### Atractor extraño

El concepto de atractor es de utilidad para designar aquellos puntos o estados que atraen al resto de los puntos del espacio de fases hacia sí en un sistema caótico o, de otra forma, aquellos puntos o estados que atraen a un sistema dinámico hacia sí. Si esperamos el suficiente tiempo, el sistema dinámico acabará estabilizándose en una determinada región o en un determinado punto, del espacio de fases. Al igual que hay atractores en los sistemas dinámicos también hay repulsores, puntos o estados que repelen al sistema. Un sistema dinámico puede tener varios atractores y repulsores que actúan de manera simultánea.

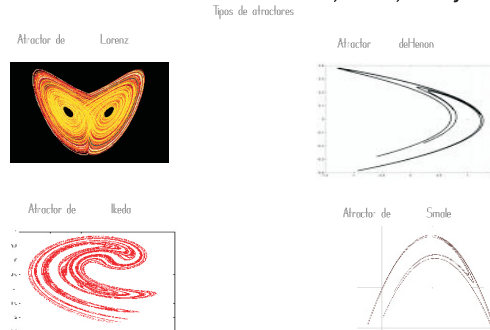
El interés por los atractores en los sistemas dinámicos fue iniciado por Poincaré al observar cómo las órbitas de los sistemas dinámicos no lineales. Poincaré observó que estos sistemas dinámicos también presentaban repulsores, o conjunto de estados en los que el equilibrio era inestable y, por ello, no atraían al sistema dinámico hacia sí, al contrario, lo repelían. Poincaré operaba para ello con cortes

transversales al flujo de trayectorias del sistema dinámico. Estas secciones, conocidas hoy como *secciones de Poincaré*. Son tres los tipos básicos de atractores que podemos encontrar en cualquier sistema dinámico. Dos de ellos ya fueron descritos por Poincaré: sumideros y ciclos límites. (Navarro 2001). En primer lugar, tenemos los *atractores de punto fijo*, aquellos atractores que atraen al sistema hacia una situación muy concreta o estado particular. A estos atractores se les llama sumideros. Por ejemplo, un péndulo, siempre tiende a acabar en el punto de máxima energía potencial, parado, sin movimiento. Este punto representa el punto fijo atractor para el sistema péndulo.

El segundo tipo básico de atractor es el denominado *ciclo límite*. El ciclo límite representa un comportamiento cíclico, periódico. La dinámica relacional entre depredador y presa de un sistema ecológico sigue un atractor de ciclo límite.

Finalmente, están los atractores extraños (Ruelle y Takens, 1971). Un atractor extraño es un atractor no periódico, el cual no se repite jamás. Su órbita nunca se cruza con otra anterior. Se trata de un número infinito de curvas y superficies, encerradas en un espacio finito, y en el que pueden detectarse los movimientos básicos descritos por la Topología de estiramiento, comprensión y torcimiento. Son cuatro los atractores más famosos: el de Edward Lorenz sin duda es el más popular y ha recibido la atención del cine e incluso se ha vuelto sinónimo del área del caos y el llamado efecto mariposa. El atractor de Lorenz es resultado de su estudio de simulación sobre el clima meteorológico. El del astrónomo francés Michel Hénon, el del ingeniero eléctrico japonés Yoshisuke Ikeda y el matemático norteamericano Stephen Smale. (Gleick, 1987). En la gráfica no. 3 son representados gráficamente los 4 atractores mencionados:

**Gráfica No. 3 Los Atractores extraños de Lorenz, Henon, Ikeda y Smale**



Fuente: elaboración propia a partir Caselman 2008, Huan P. 2000

### Auto organización

El concepto ha evolucionado en el tiempo. El primer autor en referirse a él es el filósofo alemán Kant quien en libro *La crítica de la razón pura* se refería a la capacidad de las partes de un órgano para producir orden en las otras partes y recíprocamente estas partes para ser ordenadas por aquellas.

En 1954 (Farey y Clark) (Heylighen 1997) lo definen como aquél que cambia su estructura básica en función de su experiencia y el medio ambiente que lo rodea.

Prigogine al investigar los sistemas termodinámicos alejados del Equilibrio incorporó el concepto de estructura disipativa

que es un orden emergente que puede ser observado en distintos campos tales como la biología, la química y los sistemas sociales.

De acuerdo con Lucas (2002) las características de un sistema auto organizado son las siguientes:

1. Ausencia del control centralizado
2. Fluctuaciones (búsqueda a través de opciones)
3. Equilibrio múltiple (posibilidad de diversos atractores)
4. Orden global (emergencia de la interacciones locales)
5. Redundancia (Insensibilidad al daño)
6. Adaptación (Estabilidad a variaciones externas)
7. Jerarquías (Múltiples niveles de auto organización)
8. Dinámica operativa (Evolución en el tiempo)
9. Rotura simétrica (Pérdida de libertad)
10. Criticabilidad (Efecto evolutivo y en fases de cambio)
11. Auto mantenimiento (Reparación y remplazo de partes)
12. Disipación (Energía usada y exportada)
13. Complejidad (Parámetros múltiples)

### Coevolución

El concepto de co evolución frecuentemente ha sido usado como sinónimo de adaptación sin embargo esto es un error ya que la idea es que en realidad un sistema complejo nunca termina de crecer y evolucionar por lo tanto jamás alcanza el equilibrio.

Según Ricklefs este concepto está asociado a todas las especies del mundo y pone énfasis en las interacciones que pueden ser de dos tipos antagónicas (basadas en la ecuación consumo recursos) o cooperativas (mutualista). (Ricklefs 1990).

En la figura 1 se muestra un ejemplo clásico del proceso coevolutivo que se da en la polinización de las plantas y la supervivencia de las mariposas. Se estima que por cada tres bocado de alimento genera uno de polinización. (NAPPC 2008).

En la figura 1 se muestra un ejemplo clásico del proceso coevolutivo que se da en la polinización de las plantas y la supervivencia de las mariposas. Se estima que por cada tres bocado de alimento genera uno de polinización. (NAPPC 2008).

Gráfica No. 4 La polinización un ejemplo de coevolución



Fuente: North American Pollinator Protection Campaign (NAPPC) 2008.

Cada relación entre especies está relacionada y coevoluciona con el ambiente adaptándose selectivamente entre ellas.

En los sistemas coevolutivos los parámetros de medición del éxito están continuamente cambiando en una sucesión interminable de valles y crestas donde la predicción es prácticamente imposible ya que aparecen continuamente condiciones emergentes.

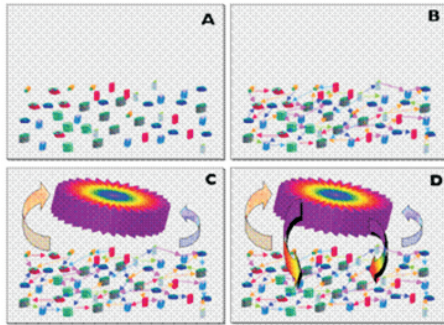
### Emergencia

El concepto de emergencia está asociado a la sorpresa, a la multiplicación de consecuencias, a la desproporción y al efecto devastador. Emergencia es lo que pasa en un fenómeno que siendo local y teniendo consecuencia limitadas basadas en la auto organización y los efectos del medio ambiente externo. La retroamplificación en los sistemas emergentes puede ser de dos tipos: negativa (descompensación) y la retroalimentación positiva (amplificación) que conducen a una evolución desproporcionada de circunstancias generando un sistema complejo adaptativo.

Según (Holland 1998) los agentes que en principio estas desunidos coevolucionan se auto organizan y crean patrones emergentes cuyas conductas son imposibles de predecir aun cuando todas las estrategias individuales y los procesos de



### Gráfica No.5 Naturaleza de la emergencia



Fuente: Seel R. (2000)

### Redes

Puesto que el estudio de la complejidad supone la interacción de un número muy grande de elementos un aspecto toral de la teoría descansa en los conceptos de red y jerarquía.

Una red es una agrupación de nodos interconectados entre si por mecanismos que pueden ser físicos o virtuales e incluso cabe especular, asociaciones mentales basadas en la intuición profunda sobre lo cual se conoce poco hasta el momento.

Una red está compuesta por nodos y relaciones entre nodos. Los nodos son los elementos que caracterizan las células básicas y son a la Organización en Red lo que los departamentos a la Organización Funcional. Dichos nodos pueden adoptar distintas formas y tamaños, dependiendo del número de conexiones que existan, y los nodos que participen en la organización.

Estas conexiones pueden ser de 5 tipos:

- ❖ Burocráticas (órdenes, estándares, políticas, procedimientos)
- ❖ Económicas (transacciones comerciales o financieras)
- ❖ Operativas (toma de decisiones comunes, recursos compartidos)
- ❖ Culturales (valores, normas de conducta, creencias, etc.)
- ❖ Informativas (acceso a fuentes de información, intercambios, información compartida en receptorías comunes, etc.)

Entre mayor número de nodos tenga una red y mas difícil sea entender cuales son los mecanismos por los cuales dichas redes se conectan y por lo tanto será más compleja la red.

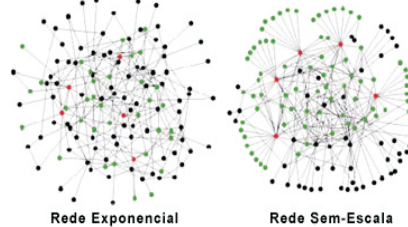
Kaufman ha aportando el nombre de redes booleanas para caracterizar a una red con nodos (N) y (K) conexiones. La parte booleana describe las reglas de intercambio basadas en un proceso lógico.

El estudio de las redes, es un común denominador en distintas disciplinas tales como la física, la química y la genética y más recientemente en las ciencias sociales y en la administración.

En las investigaciones desarrolladas por Kaufman en genes y células llevo a cabo una simulación con 100 genes que pueden controlan entre 2 y diez pares de genes. Al calcular los posibles estados, calculó un millón de trillones de trillones de estados. Sin embargo, al iniciar la simulación descubrió que los genes en lugar de tener un comportamiento caótico tendían a una red y establecían un número reducido de estados simples. En lugar de explotar en los mil trillones de trillones, la red estableció lo que Kauffman denominó un "orden" gratuito".

### Gráfica No. 6 Tipología de redes

#### Topología da Rede



Fuente: Centro Brasileiro de pesquisas físicas 2008.

En sus propias palabras (Kaufman 1995):

... "Los organismos adaptan su acoplamiento al entorno con el valor que más les convenga seleccionando la estrategia apropiada. Y si ajustan el acoplamiento en beneficio propio alcanzarán el límite entre el orden y el azar, el régimen de la máxima adecuación media. La hipótesis más atrevida es que los sistemas adaptativos complejos se adaptan y desarrollan en el extremo del caos...."

## Jerarquía

Si bien existe la idea extendida que la red no tiene jerarquía y el concepto de autoorganización implica la creación de ordenes espontáneos, en las redes la jerarquía si es relevante si bien tiene unos matices que frecuentemente resultan difusos tal como se menciona en el ejemplo 1.

Más que entender el funcionamiento de una red, importa ver sus impactos y resultados. Es posible comprender su operación a partir de tres dimensiones, que son:  
Su cohesión, su potencial combinatorio y su modo de activación.

**Cohesión.-** Está en función del grado de relación afectiva, la heterogeneidad, la multiplicidad y densidad de los nodos que la conforman. En una empresa pública, por ejemplo, los nodos tienen un mayor grado de cohesión que en una organización privada.

**Potencial combinatorio.-** Es la cantidad de conexiones que puede realizar cada uno de los nodos, lo cual está en función del tamaño y diversidad de los nodos. El potencial combinatorio está en relación directa con la capacidad de comunicación de los nodos; por ello las tecnologías de información constituyen un elemento diferenciador sobre la calidad y tamaño de la organización en red.

**Poder de activación.-** Se refiere a la capacidad que tienen los nodos de iniciar interacciones con los miembros de la red.

Aunque las jerarquías resultan difusas existen, en la práctica de su aplicación se distinguen dos modelos básicos:

Los dirigidos, donde uno de los nodos tienen privilegios para el planteamiento de los problemas estratégicos que deben ser resueltos por algún nodo de la red. Es decir, el poder de activación se encuentra concentrado en algún nodo en concreto.

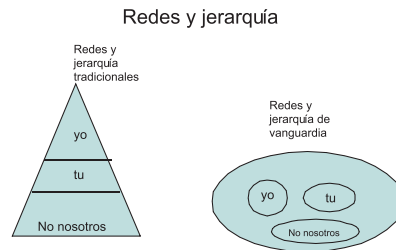
El otro modelo es no dirigido, donde no existe verdaderamente ninguna jerarquía de un nodo sobre otro, y cualquiera tienen la posibilidad de planear los problemas estratégicos y darles solución.

Esta capacidad anárquica tiene un poder de

ebullición que pese a su relativo caos, está limitado a la selección de la formación que realizan los otros nodos, de modo que al final se autorregula por la calidad de la información que se aporta. (Rivas 2007)

Según Lipnack . Stamps 1994 las redes han evolucionado de un mundo predominantemente jerárquico hasta uno más adecuado a los nuevos entornos donde las redes pierden su carácter vertical y en el cual las redes y jerarquía evolucionan con las dinámicas del entorno  
En la grafica 2 Se muestran estas diferencias y las transformaciones que supone las diferencias entre las relaciones verticales y horizontales.

### Grafica No. 7 Distinciones entre jerarquías verticales y horizontales



LART 2003 Derechos reservados

Fuente : Linack J. – Stamps J. The age of the network, John Wiley

## Autopóiesis

En su trabajo famoso ahora por su originalidad (Maturana y Varela, 1973) especialistas en biología de la cognición fueron las primeras personas en incorporar este concepto.

Estos autores consideran que la *autonomía*, con respecto al medio se sobreentiende, es un rasgo tan obvio en los sistemas vivos que siempre que observamos un sistema que parece autónomo de su medio tendemos a considerar que es un sistema vivo. Un ejemplo nos ilustrará esta idea. Una roca sufre los avatares de su medio, calentándose cuando sube la temperatura y enfriándose cuando esta desciende. Por el

contrario, un ser vivo es capaz de mostrar cierta independencia de este medio, manteniendo una temperatura interna independiente de la temperatura exterior.

Los seres vivos tienen una extrema habilidad para conservarse a sí mismos, para conservar su identidad, a pesar de los cambios continuos en sus entornos, demostrando con ello una alta y continuada capacidad homeostática. Maturana y Varela considerarán dos las características esenciales de todo sistema vivo:

- 1) la conservación de su identidad, y
- 2) el mantenimiento o la invarianza de las relaciones internas al sistema vivo y que son definitorias del mismo; es decir, el mantenimiento de su organización.

El término *autopoiesis* derivado del griego y cuya significación más inmediata sería la de auto reproducción. Con la noción de autopoiesis, Maturana y Varela pretenden recoger en una sola característica lo esencial de la organización de los sistemas vivos.

Autopoiesis es un término difícil de definir incluso por los propios Maturana y Varela han sido atacadas de circulares y tautológicas (Scheper y Scheper, 1996) (Navarro 2001 p.107) Para los fines de este trabajo debemos definirlo como la capacidad de los sistemas complejos de cuidar su identidad y mantener su organización interna.

**Gráfica No. 8 Autopoiesis**  
**Autopoiesis en el bosque**



Fuente: Leverett 2001

### **Sistema adaptativo Complejo (SAC)**

Es un sistema complejo formado por agentes interactivos, los cuales están descritos en términos de normas, de tal manera que al acumular experiencia los agentes cambian sus normas. Como el entorno está poblado de otros SAC los agentes se adaptan a todo lo demás generando patrones complejos.

Holland al definir a los SACs distingue entre propiedades y mecanismos. *Las propiedades* son: la agregación, la no linealidad, los flujos y la diversidad, y *los mecanismos de los SACs* son: la etiquetación, los modelos internos y los bloques de construcción. (Holland 1998).

Con estas propiedades y mecanismos Holland propone modelos de simulación para entender los sistemas complejos llamados *modelos basados en los agentes*.

Puesto que el número de agentes puede ser inmenso, y las interacciones de los mismos hacen el sistema aún más difícil de entender, la única forma de estudiar estos sistemas es mediante una metodología intermedia entre la teoría y el experimento. Esto son los modelos ABSM o simulación y generación de modelos basados en agentes. (Rojí 2004).

**Gráfica No. 9 Ejemplo de un sistema complejo adaptativo**



Fuente. May 2007.

Los modelos basados en los agentes (ABSM) no son genuinamente experimentos porque no manipulan directamente el universo ni el

pero es mediante la simulación como el investigador puede mediante la repetición del programa con pequeñas variaciones estudiar posible patrones o regularidades del sistema de esta forma se busca relaciones causales que puede dar idea de posibles modelos matemáticos.

Un modelo basado en agentes esta formado por tres componentes. 1) un conjunto de detectores que extraen información del entorno. 2) un conjunto de normas del tipo y 3) un conjunto de efectores que representan la capacidad del agente de enfrentarse a su entorno.

Con base en esto la generación de hipótesis incorpora la experiencia pasada y la innovación se centra en la utilización de tres operadores: algoritmos genéticos, mutación y selección natural y combinación. (Roji 2004 p. 112).

La lógica que propone Holland con sus modelos basado en agentes es que una vez conocidos los puntos en común de los SACS, los agentes, y sus interacciones unificándolos en un modelo único es posible entonces entender su comportamiento.

Finalmente y a manera de conclusión en la tabla no 2 se mencionan las características que tienen los sistemas adaptativos complejos de acuerdo con Holland y Kauffman.

**CUADRO No. 2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS ADAPTATIVOS COMPLEJOS**

1. Emergencia	2. Normas de decisión adaptativas
3. Complejidad	4. Procesos de retroalimentación positiva(amplificación) y negativa (amortiguación)
5. No linealidad	6. Expectativas heterogéneas de los agentes
7. Auto organización	8. Las partes no contienen el todo pero cada elemento es en sí otro sistema adaptativo complejo
9. Relaciones vecinales entre agentes(no necesariamente espaciales)	

Fuente: Elaboración propia a partir de Roji 2004.

**Implicaciones de la teoría de la complejidad en la gestión de organizaciones**

La gestión como una ciencia nueva ha progresado en el espacio de un poco mas de un siglo de los modelos tayloristas, fayolianos y fordistas diseñados y concebidos para garantizar la eficiencia en sistema cerrados y locales a nuevas pautas de administración que han tenido que incorporar apresuradamente en sus modelos las fuerzas de un entorno que en espacio de poco mas de dos décadas se volvió emergentemente global.

Las organizaciones como sistemas complejos tienen todas las 10 características mencionada por Holland y por tanto se observan en las nuevas estrategias la necesidad de adaptarse a ambientes dinámicos buscando impulsar la creatividad mediante la innovación estratégica.

La competencia global y los requerimientos de enfrentar a agentes que tienen competencias insospechadas a escala global ha internacionalizado de golpe la administración. Desde la década de los noventas se impuso primero una fase de técnicas basadas en el ajuste y el redimensionamiento tendente a aligerar las pesadas estructuras verticales de pasado.

A partir de entonces estrategias como la fabricación ágil, la calidad total, los procesos 6 sigma basados en la cooperación de empleados, el diseño de estructuras de organización horizontales, los nuevos esquemas de producción flexible como el *just in time*, la reingeniería de procesos, el Kan Ban, El MRP II y la filosofía Kaizen o mejora continua son algunos ejemplos de la creación de nuevas conductas adaptativas en las organizaciones contemporáneas.

Sin embargo, haciendo un esfuerzo de síntesis y advirtiendo que la lista es seguramente incompleta hemos identificados 15 implicaciones de la teoría de la complejidad en la gestión moderna de organizaciones:

1. Nuevos modelos de dirección estratégica
2. Nuevas formas de organización y nuevas formas de gestión del capital humano
3. Nuevas formas de control
4. Nuevos estilos de liderazgo
5. Nuevas estrategias de competitividad
6. Nueva formas de gestión de riesgos
7. Nuevas formas de marketing
8. Nuevos modelos de cooperación
9. Nuevos formas de gestión de la información
10. Nuevas formas de gestión financiera
11. Nuevas formas de gestión de conflictos y construcción de consensos
12. Nuevas relaciones empresa comunidad
13. Nuevas formas de gestión del conocimiento
14. Nuevas formas de gestión de la innovación
15. Nuevas formas de comunicación organizativa

### Conclusiones

En un bosque teórico y conceptual difícil de asir han sido seleccionados y explicados los diez conceptos básicos para entender la teoría de la complejidad sobre la cual hay controversia hasta en su nombre ya que con certeza diversos especialistas afirman que es un error referirse a ella en singular ya que en realidad abarca de un conjunto de disciplinas que parecen en principio muy alejadas unas de otras por lo cual sería más correcto ( aunque confuso) hablar de teorías de la complejidad.

No linealidad, el caos, atractor extraño, la auto organización, la coevolución, la emergencia, las redes, la jerarquía, la autopoiesis y los sistemas complejos adaptativos son los conceptos que han sido definidos e ilustrados. El objetivo ha sido crear el marco conceptual para caracterizar a las organizaciones como un sistema adaptativo complejo y han sido identificadas 15 implicaciones ampliamente documentadas en la literatura sobre el campo. Corresponde a los estudiosos del campo de la administración y la gestión abundar y profundizar en las ampliaciones de la teoría de la complejidad en estos dos campos de las ciencias sociales.

### Bibliografía

- ❖ Battam A. 1995 Navegar la complejidad. Guía básica sobre la teoría de la complejidad en la empresa y la gestión Ed. Granica : España
- ❖ Casselman B. (2008) disponible en URL [www.ams.org/featurecolumn/archive/henon.html](http://www.ams.org/featurecolumn/archive/henon.html)
- ❖ *Centro Brasileiro de pesquisas físicas 2008 imagen de topología de redes disponible en URL [portal.cbpf.br/index.php?page=tecnologia.cat\\_comp](http://portal.cbpf.br/index.php?page=tecnologia.cat_comp)*
- ❖ Gell- Mann M. The quark and the jaguar Adventures in the simple and the complex. Abacus: USA
- ❖ Goff s (2005). The danger of iraqí partition An update on the progress of the Energy War disponible en The Wilderness Publications, URL [www.fromthewilderness.com](http://www.fromthewilderness.com).
- ❖ Hernández R. – Rivas L. (2008) La teoría de la complejidad una nueva disciplina multicientífica y sus bases para la aplicación en la administración. Revista Universidad y Empresa Universidad del Rosario Colombia Paper en revisión de pares.
- ❖ Heylighen ( 1997) “Self organization systems” Citado por Mena . 2003 Complexity in Organizations: a conceptual model University of Warwick . doctoral –thesis . Warwick manufacturing group.
- ❖ Holland J. (1998) Emergence: From chaos to order, Oxford university press, Great Britain
- ❖ Huan P. 2000 Spring 2000 Control in Chaos: Semester End Report disponible en URL [math.arizona.edu/~ura/001/huang.pojen/](http://math.arizona.edu/~ura/001/huang.pojen/)
- ❖ Kaplan D. Glass, L. (1995). Understanding non linear dynamics. New York: Springer- Verlarger.
- ❖ Kaufman S. 1993 The origins of order. University Press : Oxford
- ❖ Kauffman S. 1995 At home in the Universe University Press : Oxford
- ❖ Lewin R. (1998) Complejidad: El caso como Generador del orden. España :Ed Tusquets
- ❖ Leverett, R. (2001) “Old-Growth Forests of the Northeast,” in Wilderness Comes Home: Rewilding the Northeast, C.M. Klyza, ed., Middlebury College Press. Imagen disponible en URL [www.vianegativa.us/.../](http://www.vianegativa.us/.../)

- ❖ Linack J. – Stamps J. The age of the network, John Wiley: USA
- ❖ Lucas c. (2002) Sel-organizing systems (sos) FAQ, disponible en URL [www.calresco.org/sos/sosfaq.htm](http://www.calresco.org/sos/sosfaq.htm)
- ❖ MATURANA, H.. (1981): Autopoiesis. En M. ZELENY (Ed.): Autopoiesis: a theory of living organization. New York: North Holland Publishers.
- ❖ Mason S. M ( 2001 ) Simplifying the complexity: A review of complexity theory Geoforum 32, 405-414
- ❖ MAY, Robert M. (1974): Biological populations with no overlapping generations: stable points, stable cycles, and chaos. *Science*, 186, 645-646.
- ❖ May 2007 Imagen disponible en URL [cerebrodarwin.blogspot.com/2007/09/los-bichos...](http://cerebrodarwin.blogspot.com/2007/09/los-bichos...)
- ❖ North American Pollinator Protection Campaign (NAPPC) 2008 imagen disponible en URL [www.nappc.org/partners2005.html](http://www.nappc.org/partners2005.html)
- ❖ Navarro J. (2001) Las organizaciones como sistemas abiertos alejados del equilibrio Tesis Doctoral Universidad De Barcelona Departamento de psicología social
- ❖ Riklefs R. (1990) "Ecology", W. H. New York. Freeman and Comapy
- ❖ Rivas L. (2007) Dirección estratégica y procesos organizacionales. Nuevos Modelos para el siglo XXI. Archivo Óptico E book.
- ❖ RUELLE, David y TAKENS, Floris (1971): On the nature of turbulence. *Communications in Mathematical Physics*, 20, 167-192
- ❖ Roji S. (2004) La complejidad y la economía en la empresa España. Editorial Dossat
- ❖ Stategor. (1995). "Estrategia, Estructura, Decisión, Identidad. Política General de Empresa". Biblio Empresa, España, Pág. 347.
- ❖ Seel R. (2000) Culture & Complexity Organizations People 7. May (2-9)
- ❖ Scheper, W. y Scheper G.. (1996): Autopsies on autopoiesis. *Behavioral Science*, 41, 1, 3-12.
- ❖ SCHUSCHNY A. (2007) La red y el futuro de las organizaciones Argentina: Editorial Kier imagen disponible en URL [humanismoyconectividad.wordpress.com/.../](http://humanismoyconectividad.wordpress.com/.../)
- ❖ Universidad de Oviedo Curso sobre geometría fractal disponible en URL [coco.ccu.uniovi.es/.../capitulos/02/02-07.shtm](http://coco.ccu.uniovi.es/.../capitulos/02/02-07.shtm)

Recibido: 24/01/08  
Aceptado: 28/01/08