

Capítulo 4: La Teoría de Caos aplicada

“El verdadero viaje de descubrimientos no consiste en buscar nuevas tierras, sino en ver con nuevos ojos”
Marcel Proust (Novelista Francés 1871-1922)

“La Naturaleza es demasiado rica para describirse en un solo lenguaje”

Ilya Prigogine

“El Caos comienza donde la ciencia clásica se detiene”

James Gleick

El hecho de vernos acorralados en un medio ambiente complejo caracterizado por el desorden, cada vez más demandante, exige de las organizaciones un despliegue cuantioso de recursos y acciones, que si no son realizados inteligentemente pueden llevar a complicar aún mas el escenario presente. Atrapados en este mundo, aparentemente a merced del devenir hemos recurrido constantemente a la alegoría de *caos* para definir el desorden que nos rodea.

Esto ha dado pie al uso indistinto del término caos para señalar confusión y desorden, sin importar de qué tipo de desorden estamos hablando, como recién lo comentamos en los capítulos anteriores. Por consiguiente, y apoyándonos en las definiciones anteriores, el concepto de caos (como comúnmente lo conocemos) también lo define el observador y el es quien fija los criterios para identificar el momento en la que una situación puede ser llamada caótica. Estos patrones con los que cuenta el observador para definir si una situación es caótica o no son referidos en un apunto del libro *Introducción a la Teoría de Sistemas* de Niklas Luhmann (1996, pag. 116) donde se acota lo siguiente: “La observación no se desarrolla de manera arbitraria, dado que la teoría de los sistemas cerrados autopoieticos parte del supuesto fundamental de que la operación de los sistemas, al estar determinada estructuralmente, depende de su estructura y de su pasado”.

Si partimos de la base de que no hemos establecido definiciones claras de lo que significa caos resulta fácil comprender por que la palabra se utilice indistintamente ante situaciones complejas (siempre desde el punto de vista del observador u observadores). Sin embargo los términos caos y complejidad se manejan indistintamente y nunca nos hemos preocupado por diferenciarlas, si preguntarnos si es que entre ellas existe diferencia. Aunque en mi experiencia he llegado a observar que típicamente las definiciones manejadas son:

Complejidad: algo difícil de resolver, que implica un reto afrontarlo.

Caos: algo imposible de entender por la dinámica de variables que participan en la situación.

En el caso de la Complejidad, ya hemos hecho el esfuerzo por comprenderla y darle forma, y en el caso de la definición de Caos podemos mencionar que últimamente se está desarrollando una corriente, vamos a llamarla, intelectual que aun no puede ser reconocida absolutamente como

ciencia, pero que gracias a la ayuda de la computadora y otro tipo de tecnologías comienza a emerger. Como menciona Moisés José Sametban (1994, pag.13) “A diferencia de lo que ocurre en otros campos de la física, como la mecánica cuántica, las investigaciones sobre partículas fundamentales que constituyen la materia o las teorías sobre el origen del universo, se está intentando aplicar esta “ciencia del caos” a muchos eventos vinculados directamente con las experiencia humana habitual, y explicar así fenómenos tan disímiles como las arritmias en el funcionamiento del corazón, o aspectos de la economía como las fluctuaciones de la bolas de valores, o también la aparición de la vida sobre la Tierra, además del comportamiento de los sistemas físicos dinámicos con un numero elevado de componentes como pueden ser la atmósfera o un líquido en estado turbulento.” El concepto de caos es reciente, y surge gracias a las valiosas aportaciones y trabajos acumulados de científicos e investigadores de diferentes disciplinas que han posible que emerja lo que ahora se ha dado a llamar la Teoría de Caos, uno de cuyos principios establece el hecho que dentro del Caos existe Orden y también dentro del Orden existe Caos.

Sin embargo debemos dejar claro que no todo es Caos dentro de la organización. El concepto es muy poderoso y debemos comprender sus principios para ver si tiene aplicación dentro de la dinámica organizacional, que es el tema que nos interesa.

La Teoría de Caos se fortalece día a día, y ha encontrado cabida en mucho rincones, en ambientes de investigación científica, como la económica, biológica, matemática, etc. Aparentemente es un eslabón perdido de la ciencia que promete dar una nueva perspectiva a la explicación de eventos en ambientes dinámicos y turbulentos, alejándose cada vez más la visión mecanicista que ha predominado en nuestro modelos mentales para administrar las organizaciones.

Estas nuevas teorías emergen porque en un mundo donde ya no es posible entender fenómenos en función de relaciones causales, se requieren de mejores postulados que expliquen lo que sucede en modelos que permitan predecir escenarios y conductas con mejores aproximaciones a la realidad. Tal parece que esto pronto nos llevará irremediablemente a pasar a la *Administración de eventos dinámicos*, porque la *Administración causal* ha llegado a su límite. Con estas nuevas teorías, si aprendemos a domesticarlas, podremos dar un salto cuántico en la administración de las organizaciones

puesto que sin duda seremos capaces de manejar situaciones donde quedarán involucradas relaciones múltiples y dinámicas entre un gran número de variables a través del tiempo. A fin de cuentas, este nuevo velo que se comienza a quitar de la naturaleza promete revolucionar la forma en la cual entendemos la realidad, apegándose más a como es y no como pensábamos que era. Soy optimista en que la administración de la conducta organizacional se verá beneficiada por esta teoría.

El desarrollo de la Teoría de Caos, emerge en los momentos en los que por el alto nivel de complejidad que guarda los sistemas en los que estamos inmersos, es imposible tratar de establecer relaciones causales entre eventos. Al igual que las teoría de sistemas suaves y de sistemas vivos (de las cuales se hablará mas adelante), los principios de la Teoría de Caos describen el comportamiento dinámico de sistemas y no tanto de relaciones causales, lo cual se torna imposible de medir, apoyándonos en esta aseveración en el principio de Heisenberg el cual menciona que es imposible establecer la velocidad y la trayectoria que sigue una partícula simultáneamente.

La dinámica de los sistemas impide observar a cada variable, el total de las interacciones y su dinámica simultáneamente, por ello debemos basar el estudio de organizaciones en sistemas y campos y entender su conducta a través de modelos. Esa es la ventaja de la Teoría de Caos, que a través de patrones y principios sencillos se puede explicar la dinámica compleja y turbulenta de los sistemas.

Aspectos relevantes de la Teoría de Caos

A continuación se mencionan algunos de los aspectos mas relevantes en el desarrollo de la Teoría de Caos a través del tiempo, que ha sido enriquecida a través, de no solo de años, sino de décadas, aunque no por ello deja de ser joven ya que ha desarrollado mas últimamente gracias a la aparición de la computadora.

El Origen del Caos

El concepto de Caos ha estado presente en prácticamente toda la historia de la humanidad, a través de las leyendas que han acompañado a las distintas civilizaciones antiguas. Como mencionan Briggs y Peat (1994, pag 19) “Los pueblos antiguos creían que las fuerzas del caos y el orden formaban parte de una tensión inestable, una armonía precaria. Pensaban que el caos era algo inmenso y creativo”. “En una historia cosmogónica china un rayo de luz pura, yang, surge del caos y construye el cielo mientras la pesada opacidad restante, yin, configura la Tierra. Yin y yang, el principio femenino y masculino, luego actúan para crear las 10,000 cosas (en otras palabras todo). Significativamente, se dice que los principios de yin y yang, aun después de haber emergido, conservan las cualidades del caos del cual surgieron. Un exceso de yin o de yang nos devolvería al caos”.

Las Leyes que gobiernan a la Naturaleza

Si bien es cierto que recién desarrollada Teoría de Caos está orientada a describir el comportamiento de la dinámica no lineal, también es cierto que es la antítesis de la realidad estable y predecible, esto es el modelo del mundo mecanicista que surge y se nace, se desarrolla y fortalece con los modelos que describían la conducta planetaria. Las contribuciones de Copérnico, Galileo y Kepler fortalecieron la idea de un sistema solar predecible y sujeto a leyes naturales estables, gracias a sus valiosas aportaciones, desmitificando las ideas que prevalecían anteriormente. Este desarrollo de marcos de referencia fueron vitales en su momento, puesto que después de todo el hombre no estaba a merced de la naturaleza y el medio ambiente que lo rodeaba, sino que ¡ era posible predecir el comportamiento de los astros !, algo que hasta anteriormente había sido considerado mágico o de origen divino.

Tiempo después Isaac Newton estableció bases sólidas para la matemática dinámica basada en el cálculo. La geometría fue el soporte de sus métodos de experimentación dominados por el determinismo. Newton, sin duda fue quien fortaleció aún mas el modelo de un universo como un gran mecanismo al aportar las leyes de la gravitación universal. Estas ideas se arraigaron a ciencia, tecnología, sociedad, economía y cultura por su posibilidad de reducir la incertidumbre al sintetizar el comportamiento de la realidad a principios lineales y causales.

Estos científicos marcaron de una manera definitiva el desarrollo de la humanidad por su aportación a la ciencia aplicada y al desarrollo económico a través del método científico. Es significativo el hecho de que gran parte de sus ideas predominan hoy en día y forman parte del acervo cultural social. Sin embargo el desarrollo de los sistemas humanos del siglo XX requería algo más que modelos lineales.

La Dinámica no lineal

Un punto de ruptura entre las teorías de mecánica celeste y la dinámica de sistemas no disipativos (no sujetos a fricción) fue aportada por el matemático francés Jules Henri Poincaré. Si bien las ideas de Newton se habían convertido en un paradigma para describir muchos aspectos de nuestra vida diaria y al menos los más evidentes, había detalles que aún no estaban contemplados. Partiendo de que en la mecánica planetaria no se habían tomado en cuenta aspectos no lineales, como los que se exhibían en el “problema de los tres cuerpos”. Esa es la ventaja de la Teoría de Caos. Poincaré publicó un artículo en 1890 describiendo el hecho de que aún el sistema Sol-Tierra-Luna (tres cuerpos en interacción), no podía ser explicado bajo la mecánica clásica tradicional.

Para este problema, Poincaré demostró que por simple que parezca, el conjunto de los tres cuerpos presentaba un comportamiento complejo a través de una dinámica irregular. Con ello podemos decir que Poincaré es el padre de lo que ahora se conoce como Teoría de Caos. El llegó a mencionar...

“...sucede que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales impactan grandemente en el fenómeno final. Un pequeño cambio al principio provoca enormes errores al final. La predicción se vuelve imposible...”

Según Cambell (1993, pag. 22) las ideas de Poincaré no fueron aceptadas inicialmente debido a cuatro razones principales:

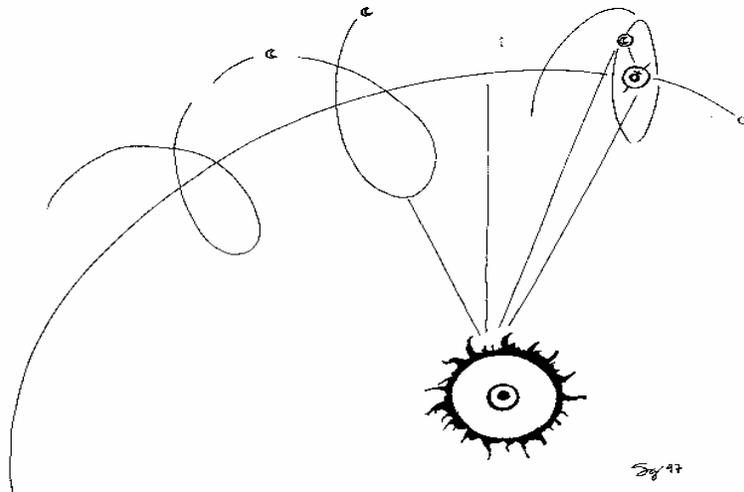
- a) La gente no estaba dispuesta a modificar el modelo que permitía interpretar la realidad en base a la mecánica clásica y a la matemática Laplaciana.
- b) En esa época el interés por el análisis geométrico iba en descenso
- c) El sistema planteado por Poincaré trataba de sistemas dinámicos conservativos (sin fricción), no disipativos, que requieren de energía para

subsistir, como son de hecho la mayoría de los sistemas con los que tenemos contacto, ya sean animados o inanimados

d) No existían computadoras.

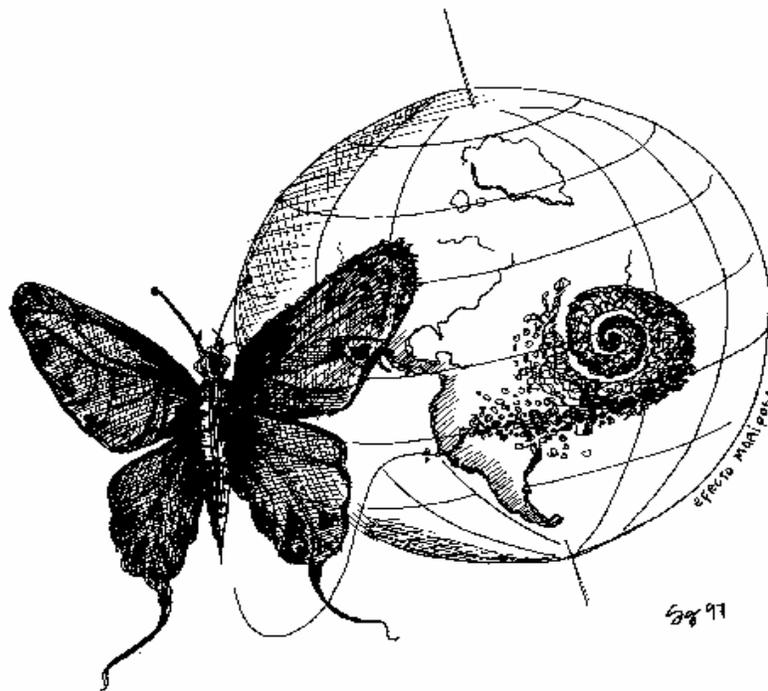
La deducción que planteaba Pointcaré era correcta. Calcular el comportamiento de dos cuerpos, por ejemplo Sol-Tierra a través de los principios Newtonianos era exacto y totalmente predecible, pero al agregar un tercer cuerpo (Luna), las ecuaciones de Newton se vuelven insolubles, como lo mencionan Briggs y Peat (1994). “Al sistema ideal de dos cuerpos él añadió un término que incrementaba la complejidad no lineal (retroalimentación) de la ecuación y se correspondía con el efecto pequeño producido por el movimiento de un tercer cuerpo”.

A este trabajo siguieron otros que continuaron atacando frontalmente los principios que hasta ese entonces se habían utilizado para entender el comportamiento del universo. Max Planck descubrió que la energía no era continua sino que estaba empaquetada en cuantos y Albert Einstein establecía las bases para la Teoría de la Relatividad.



El Efecto Mariposa

Edward Lorenz, un meteorólogo del MIT, estaba usando una computadora para simular el comportamiento del clima en los años 60's. Su modelo de la superficie terrestre consistía en la solución de varias ecuaciones no lineales. Un día mientras examinaba una corrida de datos, Lorenz comenzó la secuencia desde la mitad de la original, basado en los datos de la primera impresión. Contra lo esperado, las dos secuencias parecían idénticas, pero solo en unos cuantos datos iniciales; después la segunda serie comenzaba a separarse cada vez mas hasta tomar una forma distinta.



Repentinamente se percató de lo ocurrido. No existía error, solamente una diferencia en cuanto al grado de exactitud de los datos alimentados a la secuencia. Por simplicidad el había alimentado los tres decimales que arrojaba el modelo por cuestión de ahorro de espacio de impresión (.506 en lugar de .506127). Lorenz había pensado equívocamente que el efecto no sería de consideración (Gleick, 1987, pag. 17).

Lorenz mas adelante apuntó: “Entonces supe que la atmósfera real se portaba así (como este modelo matemático), los pronósticos meteorológicos

de largo plazo eran imposibles. Ello se traduce en asegurar que los sistemas dinámicos complejos tales como el tiempo climático son tan increíblemente sensibles que el menor detalle puede afectarlos” (Gleick, 1987,pag.69)

Y de aquí nace el Efecto mariposa, cuya metáfora que no se debe tomar tan a la ligera establece que *una mariposa que bate sus alas en algún lugar del amazonas puede provocar, través de los efectos encadenados y multiplicados, un huracán en el norte de Europa a miles de kilómetros de distancia.*

Al respecto Cambell (1984,pag. 194) menciona: “ Es importante recordar que el caos ocurre en sistemas que son sensibles a las condiciones iniciales; hasta un sistema mayor puede ser caótico si en algún lugar un estímulo pequeño perturba al sistema”. Además agrega que en la dinámica de nuestra vida diaria la incertidumbre es bastante normal. Sin embargo eso no significa que es inútil planear, al contrario. Una vez que aceptemos que algunos elementos de la probabilidad son inevitables seremos capaces de desarrollar mejores herramientas de pronóstico.

La Geometría de la Naturaleza

Así como la humanidad acogió de manera amplia la mecánica Newtoniana originando paradigmas para la interpretación causal de todo tipo de fenómeno, así también se le dio lugar a la geometría euclidiana, que representaba la interpretación de un orden a través de figuras basadas en cuerpos regulares. Sin embargo, a través del tiempo habían quedado sin contestar muchas dudas con respecto cómo se originaba la forma de las nubes, de las plantas, las siluetas caprichosas de las montañas y del perímetro de las costas.

El matemático franco-americano Benoit Mandelbrot trabajando en la IBM, desarrolló en 1975 el concepto de geometría fractal (fractal proviene del latín *fractus*, que significa “dividir”), que permitía descubrir un velo mas de la naturaleza y sus formas. Mandelbrot menciona:

“Las nubes no son esferas, las montañas no son conos, la línea costera no son círculos, la corteza no es suave ni la luz viaja en línea recta... “ (Gleick, 1987)



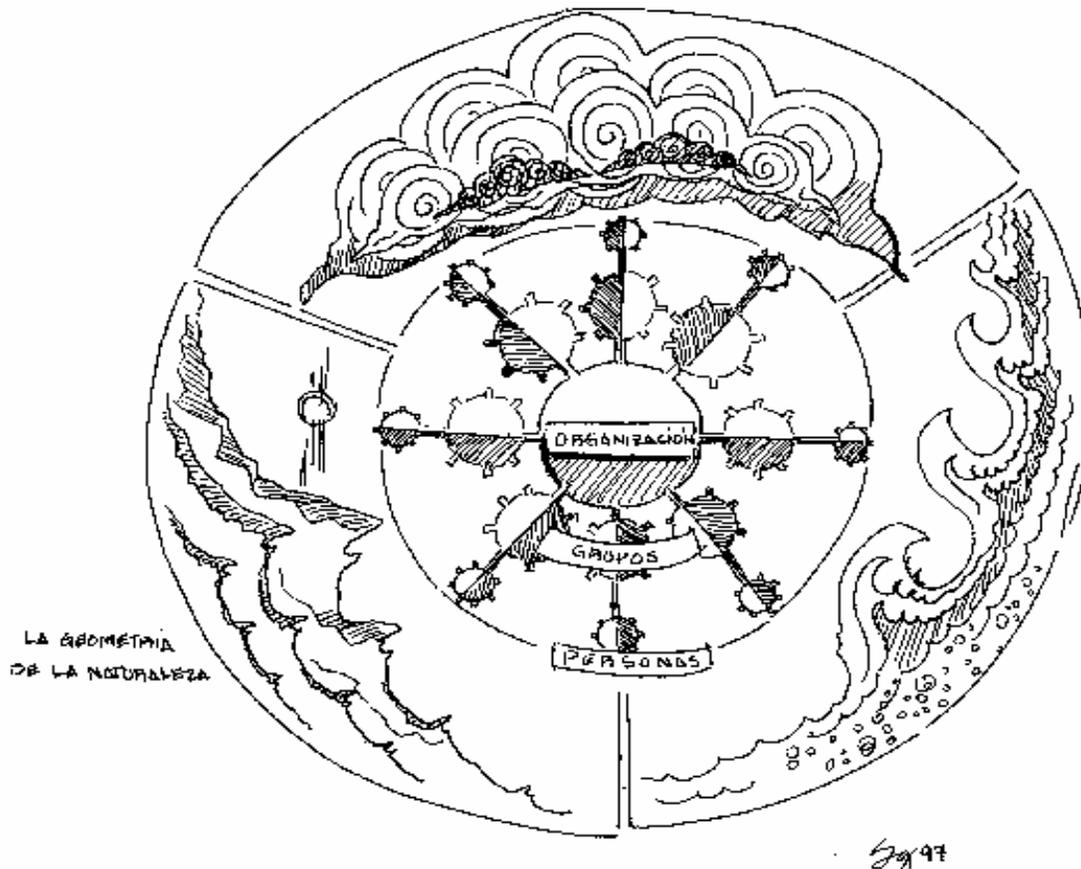
La geometría fractal no está basada en dimensiones de números enteros, sino en fracciones. Además como menciona Mandelbrot, “Las formas naturales exhiben una sorprendente estructura integral y orden. Nubes de cúmulos, una cama de hongos, y dunas de arena, todas ellas exhiben el orden de la naturaleza” (Campbell, 1984, pag. 162)

Otro aspecto no menos importante de la geometría fractal es el hecho de que es capaz de copiar a la naturaleza en su auto-similitud. Esto se traduce en que muchas formas de la naturaleza se componen de partes que se asemejan al conjunto. Tomemos los casos del árbol, un helecho o un brócoli; cada rama es la representación fiel del tronco al que se integra, y así sucesivamente.

La geometría fractal es sin duda la geometría de la naturaleza: las nubes, nuestro sistema circulatorio, los cauces de grandes ríos, las cadenas montañosas, etc. La importancia de la geometría fractal como apoyo al estudio de la complejidad radica según Campbell (1984) en cuatro puntos principales:

- 1) Provee dimensiones adicionales y más cercanas a la realidad en comparación con la geometría Euclidiana
- 2) La mayoría de los sistemas complejos son caóticos, y estos exhiben conductas extrañas asociadas con límites o campos que no pueden ser representados en dimensiones enteras.

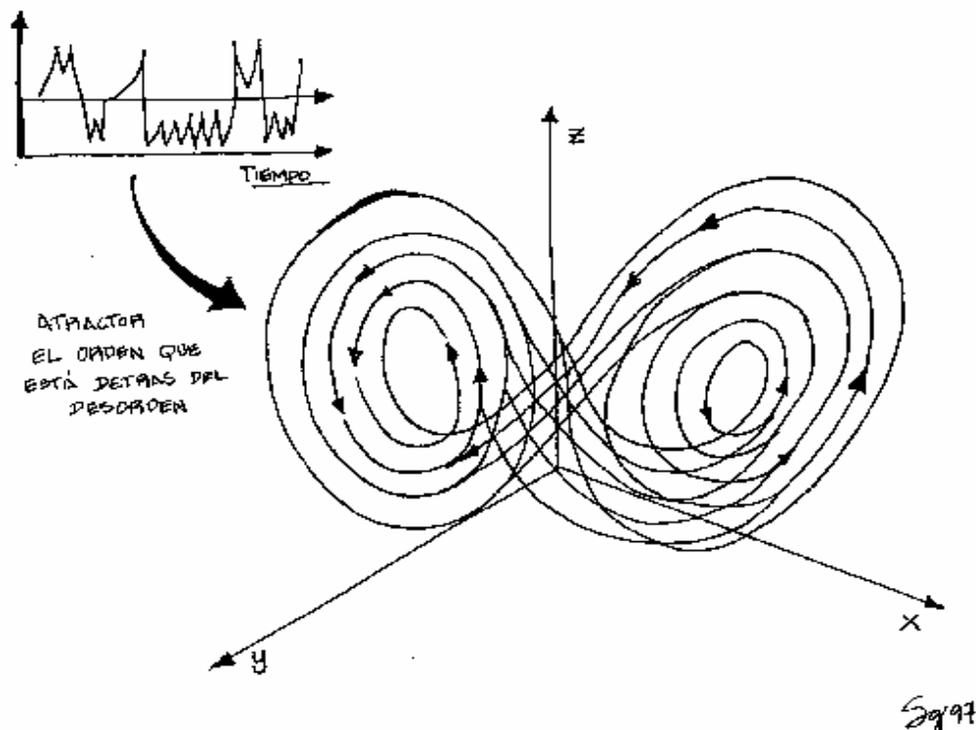
- 3) Los sistemas dinámicos pueden ser representados en series de tiempo y sus dimensiones son importantes si se busca estudiarlos
- 4) Los fractales son escalables, esto es, se puede reducir o ampliar su análisis para observar detalles, mientras que las formas básicas se conservan



Atractores

Otro de los descubrimientos importantes en la Teoría de Caos es el de ver la realidad que nos rodea interconectada y llena de lazos de retroalimentación, donde cada partícula actúa para modificar el comportamiento del medio que la rodea, pero no en forma independiente, sino obedeciendo a un comportamiento integrado por el conjunto. Así dentro de los estudios realizados por los científicos en la dinámica no lineal se percataron de que, sistemas que exhibían comportamientos caóticos en dos dimensiones, presentaban conductas “extrañas” cuando se analizaban en su respectivo espacio de fase.

El análisis en espacio de fase consiste en evaluar al sistema en las dimensiones (tantas como sea necesario) que permitan representar el movimiento del sistema, como su posición o velocidad. Estos análisis permiten descubrir zonas o campos de atracción que atrapan la conducta del sistema. Moviéndose dentro de ciclos periódicos de comportamiento regular que delimitan los vaivenes del sistema, el atractor representa una danza orbital predecible pero al mismo tiempo única, puesto que la trayectoria del atractor nunca pasa por el mismo punto.



Esta es una propiedad sumamente interesante de los sistemas dinámicos no lineales, aunque eso no quiere decir que todos los sistemas dinámicos contienen atractores. Cabe mencionar también que la localización de atractores en sistemas dinámicos fue gracias a la utilización de la computadora como herramienta científica.

El Orden que surge del Caos, que surge del Orden

Otra dimensión de capital relevancia de que se integra a la Teoría de Caos lo es la de los sistemas disipativos, esto es, aquellos que se encuentran

intercambiando energía con su medio ambiente. Uno de los mas destacados investigadores en este campo es el químico Ilya Prigogine galardonado con el Premio Nóbel de Química en 1977, quien ha realizado avances muy notables en sus estudios sobre termodinámica.

Prigogine descubrió que los sistemas que se alejan del equilibrio (aquel punto donde las partículas del sistema están paralizadas o se mueven al azar en desorden total), presentan características especiales que eventualmente los llevan a un estado donde espontáneamente surge el orden. El menciona: “En química, la relación entre el orden y el caos se manifiesta como altamente compleja: regímenes sucesivos de situaciones ordenadas (oscilatorias) siguen regímenes de conducta caótica” (Briggs y Peat, 1994 pag. 137). De aquí que la propiedad de los sistemas de generar orden a partir del caos se le conozca como Auto-organización. Cuando nos movemos en carreteras poco transitadas los demás vehículos parecen no afectar, sin embargo, a medida que crece el tráfico, el movimiento vehicular obedece al comportamiento que se mueve como un todo sincronizado. En ese entonces reaccionamos e interactuamos con los movimientos de todos los conductores. El tráfico se ha auto-organizado, como mencionan Briggs y Peat.

Para Prigogine el orden y caos es un flujo continuo que permea a los sistemas disipativos en contacto con el medio ambiente. Estos importan energía para su desarrollo y crecimiento, mientras exportan desechos en formas más entrópicas. Sin embargo, este material expuesto al medio ambiente sirve de alimento a otros sistemas que lo usaran nuevamente para convertirlo en ingredientes de desarrollo.

La Teoría de Caos Aplicada

Muchos han sido los científicos que han aportado sus valiosos conocimientos a la formación de este cuerpo teórico que amenaza en convertirse en una ciencia por derecho propio. No cabe duda que ante nuestros ojos se abren muchas puertas llenas de posibilidades de entendimiento sobre la dinámica de sistemas no lineales y que deja atrás de manera definitiva nuestros modelos mecanicistas-deterministas.

La Teoría de Caos no es solamente un nuevo cristal para comprender la turbulencia dentro de la naturaleza, las caprichosas formas que exhibe y los

patrones de conducta a los que obedece. Más allá de esto, aparece también como una herramienta valiosa para entender el comportamiento de la conducta humana y social, los fenómenos económicos, así como la evolución de la tecnología y de la actividad industrial.

Ante estas perspectivas no parece que estemos lejos que utilicemos el nuevo modelo para explicar la conducta de los sistemas que nos rodean y de los cuales formamos parte. En particular, y como tema principal de este libro, me interesa la aplicación de la Teoría de Caos, en este caso a la organización y su dinámica. Que mejor que contar actualmente con un conjunto de principios que ayuden a entender sobre los atractores que condicionan el comportamiento aparentemente caprichoso de algunas variables organizacionales, poder identificar adecuadamente aquellas variables que no manejadas adecuadamente pueden degenerar en un “efecto mariposa interno”. Tiempo después, comprender ese tipo de actitudes que se generan repetidamente en diferentes escenarios organizacionales y que reproducen a escala fractal, así también crear las condiciones para que bajo ciertas bases se origine un “caldo de cultivo” del cual puedan surgir equipos de trabajo bien integrados y con la facultad de auto-organizarse orientados a la visión del negocio.

Lejos de ser algo carente de soporte o fundamento, los principios en los que se fundamenta a teoría de Caos demuestran que no es así. Después de todo, qué son las organizaciones si no son un cúmulo de variables entremezcladas y en constante retroalimentación, aunque en aparente desorden incomprensible. Sin embargo las organizaciones como cualquier sistema disipativo y complejo, sujetos a su dinámica natural, también esta condicionado a obedecer ciertas reglas de orden y caos, que son las que le permiten mantener su coherencia y su búsqueda de significado.

Es difícil sin duda en este momento decidir si el sistema de clima mundial es más complejo que la organización más grande del mundo o viceversa. Yo me inclino a pensar que ninguno de ellos es más simple o más complejo que el otro. Más bien yo diría que los dos tienen propiedades que los pueden hacer comprensibles a los ojos de un observador con las herramientas de análisis adecuadas. No podemos comparar la complejidad de la hormiga con la ballena, simplemente debemos buscar aquellas propiedades que las hacen iguales como seres vivientes.

De la misma forma debemos cambiar la óptica de las organizaciones. Ya hemos mencionado que los principios mecanicistas en los cuales se rigen para ser administradas se están volviendo demasiado inoperantes, por una sencilla razón, se administraron como máquinas en la edad de la máquina, pero ahora que nos adentramos a la era de la informática deben ser tratadas como lo que son: sistemas vivientes.

Durante los siguientes capítulos tendremos la oportunidad de apreciar posibles aplicaciones de la Teoría de Caos dentro de organizaciones, así como conocer más a detalle algunas propiedades de los sistemas vivientes, que debemos entender claramente para formar un cuerpo coherente, que nos ayude a plantear el modelo integrador en el cual está basado este libro.