

# **Enfrentando la Turbulencia del Mercado: Un Marco Teórico para Planear en Tiempos de Incertidumbre**

## **Resumen:**

La turbulencia del entorno y la volatilidad del mercado son factores claves que determinan una creciente incertidumbre que dificulta la formulación del Plan Estratégico de la Empresa. La presente investigación busca proporcionar herramientas que permitan una mejor proyección de escenarios a ejecutivos, consultores y académicos basadas en las aplicaciones de la Teoría de la Información y la Teoría del Caos, orientadas a la gestión de la información.

Palabras clave: Teoría del Caos, Estrategia, Complejidad

## **Objetivos de la Investigación:**

1. Objetivo 1: Diseñar una metodología que permita demostrar que un sector tiene un comportamiento caótico
2. Objetivo 2: Diseñar herramientas que permitan medir la incertidumbre en un entorno turbulento a fin de establecer un horizonte máximo de planeación a partir del cual no se podrá realizar ninguna planeación fidedigna.

## **Metodología:**

La investigación contó con las siguientes etapas:

1. Investigación de los principios que rigen los sistemas complejos según la Teoría del Caos y la Teoría de la Información de Shannon.

2. Aplicación de la Entropía de Kolmogorov como metodología para medir la pérdida de información en bits en un sector, determinando de acuerdo al resultado si el sector tiene un comportamiento caótico.
3. Diseño de herramientas de gestión que incorporen la pérdida de información y el incremento de incertidumbre como ejes del pronóstico de escenarios.

## **Introducción:**

La Revolución Industrial introdujo una serie de cambios sociales y económicos que dieron forma al mundo de los siglos XIX y XX, iniciando la llamada “sociedad industrial”. La estructura de las industrias en esta sociedad se vio consolidada gracias a las teorías de Henri Fayol, Max Weber y Frederick Taylor que sentaron las bases para abandonar el trabajo artesanal y empírico.

Un siglo después, nos encontramos nuevamente frente a una nueva coyuntura de cambio producto de la aparición de las nuevas Tecnologías de la Información, el incremento de la volatilidad del mercado y la aceleración del cambio, siendo estos temas recurrentes en los libros de gestión donde se pronostica el nacimiento de una nueva teoría administrativa a la vez que ven la necesidad de ella. Así lo expresa Gary Hamel (2008): “¿Podría el ejercicio de la administración cambiar de una manera igualmente radical durante los dos o tres primeros decenios de *este* siglo a como lo hizo durante los primeros años del siglo XX? Creo que sí. Más que eso, creo que debemos *hacer* que sea así”. Por esa misma razón, Quijano afirma en la Psicología Social de las Organizaciones (1993) que la metáfora de la máquina como organización como sistema cerrado con límites y estructura claramente definidos ha sido sustituida por la metáfora de la célula: una organización como sistema abierto.

La respuesta ante esta nueva coyuntura no radica en abandonar la planificación, más bien es necesario un nuevo enfoque en la planificación. ¿Qué características debería tener este nuevo enfoque? Según Gary Hamel (2008), el nuevo paradigma estratégico deberá resolver tres retos que tienen las empresas en este nuevo siglo:

1. Acelerar drásticamente el ritmo de renovación estratégica
2. Convertir la innovación en el trabajo diario de todo el mundo
3. Crear un entorno laboral muy atractivo el cual inspire a los empleados a dar lo mejor de sí mismos

La aceleración del cambio, la innovación continua y la autopoiesis se encuentran en el centro de estos retos, haciendo imposibles enfocarlos desde una visión clásica y lineal. Todos estos elementos requieren la comprensión de la interrelación existente entre sus distintos elementos haciendo necesario que el nuevo enfoque de planificación sea complejo, dinámico y esencialmente no lineal. Anteriormente Katz y Kahn (1966) ya veían a la organización como sistemas, o sea, un conjunto de subsistemas interdependientes e interconectados, en equilibrio inestable con un entorno formado también por sistemas.

Este cambio de visión es llamado “el paradigma de la complejidad” el cual nace de la crítica a los enfoques simplistas y reduccionistas en las ciencias y en especial, en las ciencias sociales (López Yáñez y Sánchez Moreno, 2000). Según Munné (2005) entendemos la complejidad como un conjunto de propiedades cualitativas de los fenómenos y procesos que constituyen la realidad, propiedades cualitativas propias de sistemas que interaccionan entre sí, propiedades que caracterizan y nos permiten describir el estado de sistemas abiertos como los “Sistemas Adaptativos Complejos”. Entre estas propiedades se destacan no linealidad, catatrofismo,

caoticidad, autoorganización, fractalidad y borrosidad. Por lo tanto, el paradigma de la complejidad tiene como ejes a cuatro perspectivas teóricas: casticidad, borrosidad, catatrofismo y fractalidad, de tal manera que el mundo ya no se ve desde esta perspectiva como una colección de objetos, sino como una compleja red de elementos entrelazados e interconectados entre sí (Pastor y León García-Izquierdo, 2007).

Aplicado al mundo empresarial, encontramos que los mercados tienen un comportamiento no lineal, según Gary Hamel el cambio ha cambiado. Ya no es aditivo, ya no avanza en línea recta. En el siglo XXI el cambio es discontinuo, abrupto, sedicioso, agregando que en un mundo no lineal, sólo las ideas no lineales crearán nueva riqueza (Hamel, 2008). Así mismo lo afirma Peter Drucker en su libro “La Era de la Discontinuidad”, mientras que Kotler, tomando el concepto de Alan Greenspan, define estos tiempos como “la era de la turbulencia”. En cualquiera de los casos, los autores no dudan en describir el entorno posindustrial como caótico, turbulento y no lineal.

Este cambio en el entorno debe traducirse en un cambio en los horizontes para proyectar escenarios para un entorno de incertidumbre. La aceleración del cambio está transformando la industria y el mundo empresarial de lineal a no lineal de tal manera que las herramientas estratégicas ideadas el siglo pasado para gestionar la empresa ante un entorno más predecible y menos incierto que el actual están quedando obsoletas. Sin embargo los enfoques de la teoría administrativa caen en el error de confundir no-linealidad, aleatoriedad y caos, además de asociar todos estos conceptos con imprevisibilidad, por ello sus conclusiones de no-predictibilidad no necesariamente son ciertas. Existe una marcada diferencia entre un sistema determinista, uno aleatorio y uno caótico. En el sistema determinista el futuro es predecible y en él aplica el Plan Estratégico tradicional. Un sistema totalmente aleatorio es completamente impredecible y no se puede realizar planificación alguna en él. Este último puede ser confundido con el entorno

caótico, el cual es volátil, dinámico, imprevisible a simple vista y sin patrón perceptible alguno, pero a la vez es perfectamente estudiable y gerenciable. Así lo afirman Pastor y León García izquierdo (2007): “Las organizaciones laborales no funcionarían adecuadamente ni en el orden rígido ni en la aleatoriedad derivada del azar, sino que encontrarían su funcionamiento más adecuado, de manera emergente y espontánea, en el filo o borde del caos [...]. El caos, el conflicto, el desorden y la incertidumbre, lo indeterminado, ambiguo, cambiante, catastrófico, incoherente y paradójico ya no son, desde esta perspectiva, errores a evitar, sino, por el contrario, elementos complejos que [...] nos permiten una mejor adaptación a un entorno complejo, cambiante, turbulento y caótico”.

## **Sistemas caóticos**

La teoría del caos tiene sus orígenes en los cálculos del meteorólogo Edward Lorenz. Describe James Gleick (1988) que en el año 1961 Lorenz se topa con los principios del caos mientras buscaba un modelo matemático que prediga el comportamiento climatológico. Lorenz resumió estos principios en una frase que pasaría a la historia: “el aleteo de una mariposa en el Brasil, puede causar un huracán en Texas”. Este fenómeno llamado sensibilidad a las condiciones iniciales sería conocido popularmente como “el efecto mariposa”. (Gleick, 1988)

En los estudios de Lorenz podemos encontrar las primeras características de un sistema caótico: Estos sistemas son sensibles a las condiciones iniciales, lo cual significa que una variación infinitesimal en los valores iniciales generará un comportamiento totalmente distinto del sistema. Dado que estas variaciones insignificantes son imposibles de medir, se puede deducir que los

sistemas caóticos no son deterministas, en otras palabras, su comportamiento futuro no puede ser anticipado. Sin embargo, esto no significa que un sistema caótico sea totalmente desordenado. A pesar que un sistema caótico es imposible de predecir en el largo plazo, este muestra un orden inherente a su comportamiento. En contra de la creencia popular, caos no significa desorden total o una total aleatoriedad, existe un orden dentro del caos según lo expresa Ilya Prigogine (1997): “¿Hay leyes del caos? ¿Acaso no es el caos, por definición, imprevisible? Veremos que no es así, sino que la noción de caos nos obliga a considerar la noción de “leyes de la naturaleza”. Asimismo, Ian Stewart (1991) define al caos como: “el comportamiento sin ley, gobernado completamente por la ley”.

En resumen, un sistema caótico es aquel que presenta las siguientes tres características según Pons (2005):

- Relación transitiva y auto-similitud: Los sistemas caóticos muestran una auto-similitud, donde el todo puede ser encontrado en cada una de las partes.
- Órbitas periódicas densas: A pesar de la aparente aleatoriedad, el sistema caótico no se disipa arrojando valores totalmente aleatorios, sino que se mantiene dentro de un conjunto de curvas próximas llamadas “atractores”.
- Sensibilidad a las condiciones iniciales: un ligero cambio en el valor inicial de un sistema caótico generará una distorsión significativa en los resultados finales haciendo al sistema impredecible en el largo plazo; el llamado “efecto mariposa”.

La estabilidad e imprevisibilidad de los sistemas caóticos tiene como base el intercambio de energía que tiene el sistema con su entorno, de tal manera que el sistema aumenta su propia organización interna a cambio de una continua disipación de energía. En Termodinámica, la

medida de orden y desorden está dada por la entropía, la cual según la segunda ley de la Termodinámica siempre se incrementa en el tiempo. Todo sistema, por lo tanto, se caracteriza por mostrar un incremento en su grado de desorden. En el caso de los sistemas caóticos, el crecimiento del orden interno genera un intercambio de energía con el exterior que tiene como consecuencia el incremento del desorden externamente, y globalmente en todo el sistema, cumpliendo la Segunda Ley de la Termodinámica. En las organizaciones empresariales, la primera tendencia es una necesidad del sistema para responder a la entropía, como señalan López Yañez y Sánchez Moreno (2000). Los sistemas organizacionales deben responder a la entropía con entropía negativa, o sea, esfuerzos adaptativos mediante los que poco a poco el sistema se modifica a sí mismo. Según Eduardo Alejandro Ibáñez (2008), “la complejidad permitió entender el doble mensaje de la entropía como génesis de orden y desorden. Más precisamente, del desorden como *productor* de orden”.

Por ello, para diferenciar un sistema totalmente aleatorio de un sistema caótico se utiliza como indicador la entropía de Kolmogorov. Si la entropía de Kolmogorov es igual a 0, no se pierde información y el sistema es regular y predecible, si es infinita, el sistema es totalmente aleatorio e imposible de hacer cualquier predicción, si la entropía de Kolmogorov se encuentra entre cero e infinito ( $0 < K < \infty$ ), se demuestra la presencia de un comportamiento caótico.

### **La Entropía de Kolmogorov y la Complejidad en los Sectores Industriales:**

La segunda ley de la Termodinámica indica que la entropía de un sistema siempre aumenta en el tiempo, entendiéndose el concepto de entropía como medida de distribución aleatoria de un

sistema y se encuentra asociado a la energía no utilizable. En el marco de la mecánica estadística, el físico Ludwig Boltzmann relacionó la entropía con la probabilidad termodinámica a través de la fórmula:

$$S = k \text{ Log } W$$

Siendo  $S$  la entropía,  $k$  la constante de Boltzmann y  $W$  el número de microestados posibles para el sistema. La entropía indica el estado más probable de un sistema aislado y este estado más probable es también el más desordenado (Ibáñez, 2009). En el desorden existen más estados posibles que en el orden, por ello la entropía se define como una medida del desorden. Asimismo, el orden y desorden, se pueden definir a través de la cantidad de información de un sistema. Se afirma entonces que la entropía es también una medida de información, lo cual llevó a Claude Shannon (1948) a diseñar una Teoría Matemática de la Información en base a la medición de la entropía. De acuerdo al método de Shannon se puede calcular la cantidad de información que provee un mensaje y la probabilidad del mismo estableciendo una relación inversa, de tal manera que la cantidad de información de un mensaje es el logaritmo en base dos de la inversa de la probabilidad. Esto se interpreta diciendo que un mensaje tiene mayor información cuando es menor su probabilidad de ocurrencia.

Basándose en la Teoría de Información de Shannon, Kolmogorov elabora un indicador que mide el almacenamiento y ganancia de información de un sistema determinado, este indicador es llamado “entropía de Kolmogorov”. La entropía de Kolmogorov se encuentra íntimamente relacionada con la probabilidad de ocurrencia de un evento siendo esta una medida del grado de incertidumbre del evento. De acuerdo con Frigg (2004), la certeza absoluta no aporta información alguna a la hora de la recepción del mensaje. Si se tiene el 100% de seguridad que las acciones de



una empresa en la Bolsa van a subir, no se aprende nada al recibir un mensaje diciendo que las acciones de esa empresa efectivamente han subido. De hecho, a menor probabilidad de ocurrencia de un evento, mayor información se transmite en un mensaje que afirme que va a ocurrir. Es así que se establece una relación inversa entre la cantidad de información transmitida en un mensaje con la probabilidad de ocurrencia del evento que refiere. De esta manera es posible cuantificar la relación entre la gestión de información de la empresa y la incertidumbre de su entorno.

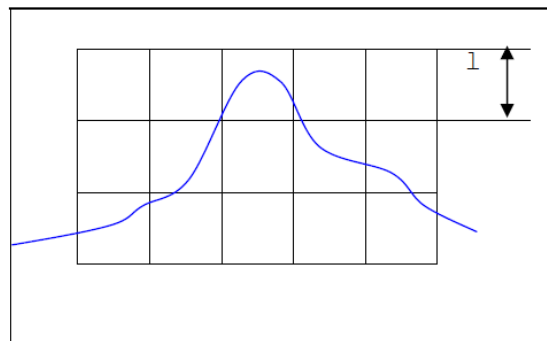
Dado que la entropía define el grado de desorden del sistema, se llega a la conclusión que el incremento de entropía trae consigo la pérdida de información en el sistema y por lo tanto es directamente proporcional a la probabilidad de ocurrencia de un evento. Efectivamente, existen mayor número de estados de desorden de un sistema que de orden, por lo que hay mayor probabilidad que el sistema se encuentre en un estado desordenado que ordenado. A su vez, los estados desordenados nos brindan menor información del sistema que los ordenados. Asimismo se necesita mayor información para describir un estado ordenado que uno desordenado. Esta relación es cuantificada por Pons (2005), tomando en cuenta que si un sistema puede ocupar un conjunto N de estados con una probabilidad  $P_i$  de ocupar cada uno de ellos, la entropía S del sistema será:

$$S \propto \sum_i P_i \log P_i$$

Siendo el logaritmo en base dos, para obtener bits como unidad de medida. En base a esta fórmula se realiza el cálculo de la entropía de Kolmogorov. Farmer (1982) proporciona un método para calcular la entropía de Kolmogorov a partir de la trayectoria futura que seguirá el

sistema en el espacio de estados. El espacio de estados es el conjunto de todos los posibles estados en los que puede terminar el sistema. Cada punto en el espacio de estados representará un estado único de esa partícula, conforme transcurre el tiempo, dicho punto se traslada en el espacio de estados describiendo una curva. Luego de graficar el espacio de estados, se divide en pequeños cuadrados de tamaño  $L$ , en intervalos de tiempo  $T$  uniformemente separados como se muestra en el Gráfico 1.

Gráfico 1. Explicación gráfica del método de Farmer para calcular la entropía de Kolmogorov



Fuente: Pons, J. A. M., Benito, F. A. V., & España, A. D. H. M. LA ENTROPÍA DE KOLMOGOROV.

La magnitud de la entropía de Kolmogorov ( $K_n$ ) quedaría definida por:

$$K_n = - \sum_{0 \dots n} P_{1 \dots n} \log P_{0 \dots n}$$

Siendo  $P_0$  la probabilidad de que el sistema se encuentre en la caja  $i_0$ , en  $t = T$  en  $i_1$  y en  $nT$  en  $i_n$ .

La diferencia de entropía de Kolmogorov entre una caja y otra ( $K_{n+1} - K_n$ ) representa la información adicional que se necesita para saber en qué celda ( $i_{n+1}$ ) se va a encontrar el sistema

en el futuro. Por lo tanto la diferencia ( $K_{n+1} - K_n$ ) mide la pérdida de información del sistema en el tiempo. Estos cálculos resultan muy útiles para distintos fines:

- Determinar si la entropía de Kolmogorov se encuentra entre cero e infinito ( $0 < K < \infty$ ), lo cual demostraría la presencia de un comportamiento caótico en el sector.
- Determinar la cantidad de información que se necesita para predecir el comportamiento futuro del sistema.
- Calcular la velocidad con la que el sistema pierde (o desactualiza) información en el tiempo.
- Establecer el horizonte máximo de predictibilidad del sistema, aquella frontera a partir de la cual no puedo predecir nada.

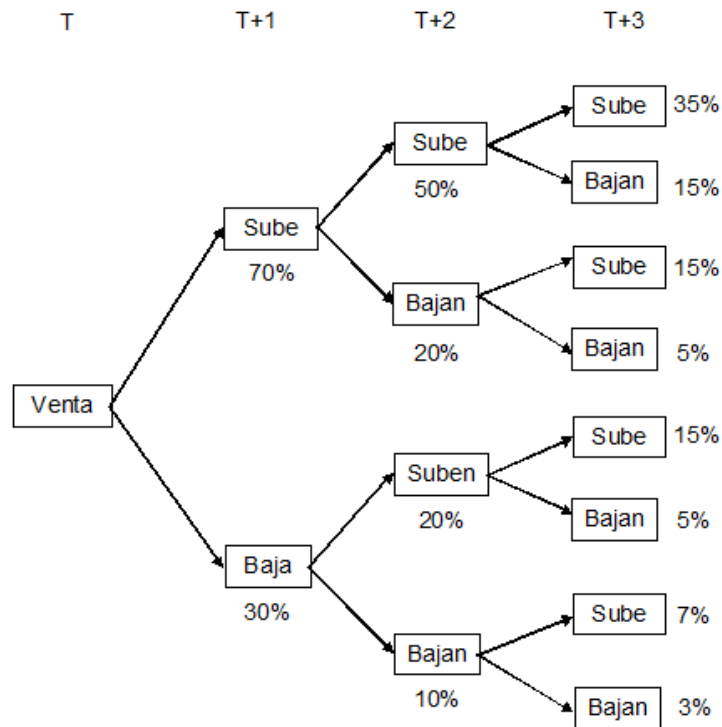
### **La Entropía en el Centro de la Proyección de Escenarios**

Esta ecuación de entropía le otorga un nuevo enfoque a las técnicas para proyectar escenarios futuros en el mercado. Para fines prácticos estableceremos un ejemplo donde sólo existen dos posibilidades: las ventas pueden subir o pueden bajar.

Si se quiere realizar una proyección de ventas para los dos trimestres siguientes se tendrán cuatro escenarios: 1) las ventas suben y luego bajan, 2) las ventas suben y luego vuelven a subir, 3) las ventas bajan y luego suben y 4) las ventas bajan y luego vuelven a bajar. Si se desea proyectar un escenario para dentro de tres trimestres se tendrán ocho escenarios según el gráfico X. Lógicamente, a mayor horizonte de proyección, mayor número de escenarios finales (microestados según la definición de entropía de Boltzmann) y por lo tanto, mayor incertidumbre sobre el estado final del sistema.

De acuerdo a las ecuaciones mostradas previamente, estas conclusiones se pueden traducir en términos de información y entropía. Tomando el trimestre actual como T, se buscará calcular la entropía para los trimestres T+1, T+2 y T+3 de acuerdo a la probabilidad de que el sistema termine en cada uno de los siguientes estados según se muestra en el Gráfico 2:

Gráfico 2. Proyección de Ventas a Tres Trimestres



Fuente: Elaboración propia

La entropía de Kolmogorov para cada uno de los trimestres según las probabilidades mostradas sería de:

Entropía de Kolmogorov para el trimestre T+1 =  $-[0.7 \cdot \log_2(0.7) + 0.3 \cdot \log_2(0.3)] = 0.881$  bit

Entropía de Kolmogorov para el trimestre T+2 =  $-[0.5 \cdot \log_2(0.5) + 0.2 \cdot \log_2(0.2) + 0.2 \cdot \log_2(0.2) + 0.1 \cdot \log_2(0.1)] = 1.76$  bits

Entropía de Kolmogorov para el trimestre T+3 = - [0.35\* Log<sub>2</sub> (0.35) + 0.15\* Log<sub>2</sub> (0.15) + 0.15\* Log<sub>2</sub> (0.15) + 0.05\* Log<sub>2</sub> (0.05) + 0.15\* Log<sub>2</sub> (0.15) + 0.05\* Log<sub>2</sub> (0.05) + 0.07\* Log<sub>2</sub> (0.07) + 0.03\* Log<sub>2</sub> (0.03)] = 2.58 bits

Este cálculo muestra el incremento la entropía período a período, en conformidad con el efecto mariposa expuesto anteriormente. A mayor horizonte de planeación, menos precisas serán las predicciones hechas, algo que intuitivamente es presentado por los directivos que se resisten a realizar planes a largo plazo. Sin embargo, la respuesta a esta creciente incertidumbre no se encuentra en dejar de realizar planes a largo plazo, tampoco se resuelve ampliando la base de datos histórica sobre la que se hace la proyección, sino en disminuir el incremento de entropía que se da en el tiempo. Aun así, la reacción natural para realizar pronósticos futuros más precisos siempre ha sido ampliar la base de datos histórica sobre la que se hace la predicción, de hecho, dicha estrategia no ha disminuido el temor de los directivos a enfrentar la incertidumbre a la hora de realizar planes a largo plazo.

Para diseñar una planeación más precisa en el largo plazo se deben realizar dos pasos. El primero es establecer el horizonte máximo de planeación y el segundo es reducir el incremento de entropía en el tiempo dentro de dicho horizonte.

Para establecer el horizonte máximo de planeación se debe hacer uso de la entropía de Kolmogorov. Previamente se mencionó que la entropía de Kolmogorov puede ser aproximada mediante la suma de los exponentes de Lyapunov. Existe un exponente de Lyapunov para cada dimensión del sistema (normalmente se toma el exponente mayor como exponente de Lyapunov), en el caso mostrado, donde el sistema es unidimensional, la entropía de Kolmogorov coincide con el exponente de Lyapunov. Esta relación es importante ya que según Prigogine (1997), la

inversa del exponente de Lyapunov muestra el “Horizonte Máximo de Planeación” o también llamado “Tiempo de Lyapunov”.

En el ejemplo del caso, la entropía de Kolmogorov para el trimestre T+1 es de 0.881 bits. Su inversa es el tiempo de Lyapunov y muestra el tiempo máximo de proyección hasta que se pierda toda información del sistema.

Tiempo =  $1 / 0.881 = 1.13$  trimestres aproximadamente unos 3 meses y 1 semana

De acuerdo a este resultado, toda proyección fidedigna podrá hacerse dentro de los siguientes 3 meses y 1 semana a la tasa de pérdida de información actual. A partir de ese límite no se podrán hacer predicciones confiables acerca de la variable que se está estudiando, en este caso, la proyección de ventas. En conclusión, antes de estudiar la manera de hacer una proyección fidedigna a largo plazo se debe calcular si es posible hacer cualquier tipo de proyección a largo plazo.

Lógicamente, el horizonte de planeación será mayor si el sector es más estable y la certeza de ocurrencia de un escenario es mayor. Si se tiene un escenario futuro menos incierto, que tenga un 90% de probabilidad de ocurrencia en el siguiente año, su entropía de Kolmogorov se reduce a:

$$K = - 0.9 * \text{Log}_2 (0.9) = 0.137 \text{ bits / año}$$

Y su horizonte de planeación se extiende a:  $T = 1/0.137 = 7.3$  años

Lo cual indica que existen casos en donde es posible realizar planes a largo plazo, pero es necesario identificar cuáles son estos casos cuantificando la incertidumbre de cada escenario y su respectivo horizonte de planeación.

Nótese que este horizonte de tiempo es independiente del pasado histórico de la empresa en base a la cual se hace la proyección. En el caso de los sistemas caóticos, es mucho más útil mirar hacia adelante para incrementar el nivel de confiabilidad de una proyección que mirar hacia atrás.

Según Smith (2011) en la década de los veinte, Yule logró cuantificar el grado en que los datos del año en curso sobre las manchas solares proporcionaban más información sobre el número de manchas que aparecería al año siguiente que los datos de los 10 años pasados.

Luego de determinar el Horizonte Máximo de Planeación, el segundo paso es reducir el incremento de entropía en el tiempo.

En un entorno caótico, el nuevo centro estratégico debe estar en la lucha contra el incremento entrópico a través de la generación de información. Para esto es necesario analizar los causantes de este incremento de incertidumbre. La primera causa se encuentra en la probabilidad de ocurrencia de un evento. Ante un fenómeno con dos posibles escenarios, la mayor incertidumbre (y por lo tanto mayor entropía) se da cuando ambos escenarios tienen la misma probabilidad de ocurrencia (50-50%) ya que no se tiene información relevante que priorice la ocurrencia de uno sobre el otro (como lanzar una moneda al aire). Por lo tanto, la primera forma de reducir el incremento de entropía en la proyección de un escenario será la realización de un análisis que permita inclinarse hacia una mayor probabilidad de ocurrencia de un escenario por encima de otro, así como el diseño de estrategias que aumenten la probabilidad de ocurrencia de un escenario en particular, teniendo en cuenta que una mayor aproximación al 100% de ocurrencia de uno de los escenarios otorgará una menor entropía en el cálculo.

La segunda forma de reducción del incremento de entropía consiste en reducir el número de escenarios futuros proyectados. Las fórmulas de entropía de Kolmogorov nos demuestran que a mayor número de escenarios proyectados, mayor es el incremento de entropía del sistema. En el ejemplo anterior, si en lugar de proyectar dos escenarios, se proyectan cinco escenarios futuros (todos ellos con la misma probabilidad de ocurrencia), el incremento de entropía es mayor, ya que a mayor número de escenarios se incrementa la incertidumbre sobre lo que va a suceder.

Entropía de Kolmogorov para dos escenarios con igual probabilidad de ocurrencia:

$$K = -[0.5 * \text{Log}_2(0.5) + 0.5 * \text{Log}_2(0.5)] = 1 \text{ bit}$$

Entropía de Kolmogorov para cinco escenarios con igual probabilidad de ocurrencia:

$$K = - [0.2 * \text{Log}_2(0.2) + 0.2 * \text{Log}_2(0.2) + 0.2 * \text{Log}_2(0.2) + 0.2 * \text{Log}_2(0.2) + 0.2 * \text{Log}_2(0.2)] = 2.32 \text{ bit}$$

A pesar que en ambos casos todos los escenarios tienen la misma probabilidad de ocurrencia, en el segundo caso existe una mayor entropía de Kolmogorov. Un mayor número de escenarios genera una mayor incertidumbre.

El nuevo objetivo de la prospectiva estratégica debe radicar en acotar el número de escenarios en base a un análisis más detallado en cada una de sus etapas. Esta reducción del número de escenarios proyectados puede incidir más en la reducción de incertidumbre que un correcto cálculo de ocurrencia de cada escenario, de tal manera que el objetivo de acotar el número de escenarios será el más importante para la reducción de la entropía del sistema.

## **Conclusiones:**

1. Un sistema es caótico cuando muestra propiedades de relación transitiva, órbitas periódicas densas y sensibilidad a las condiciones iniciales. Estos sistemas no deben ser confundidos con los sistemas aleatorios, caos no es sinónimo de imprevisibilidad. Si la Empresa se encuentra en un entorno caótico es posible elaborar una planeación tomando en cuenta la complejidad y no-linealidad del sector así como la disponibilidad de información a través de la medición de la entropía.
2. Los sistemas caóticos, complejos y no-lineales no pueden ser analizados bajo las herramientas tradicionales del Plan Estratégico, ya que éstas se basan en fragmentar el sistema en cada una de sus partes, estudiando cada una de ellas por separado. Un sistema



complejo muestra propiedades emergentes de las interrelaciones de sus elementos y que se pierden al dividir al sistema en sus respectivas partes.

3. En la era del conocimiento, la información se encuentra en el centro de la generación de valor y el diseño de estrategias debe partir de la medición de información disponible. La velocidad de ganancia o pérdida de información es medida a través de la entropía de Kolmogorov. Esta medición brinda también un horizonte máximo de planeación a partir del cual no se puede realizar ningún pronóstico.
4. La proyección de escenarios debe enfocarse en minimizar el incremento de entropía. Esto es posible a través de la acotación y minimización del número de escenarios proyectados. De esta forma la incertidumbre no debe estropear la formulación de los planes futuros, sino debe ser parte clave de su formulación.

## **Bibliografía**

1. Álvarez, A. B. (2010). Frederick Winslow Taylor Y La Administración Científica: Contexto, Realidad Y Mitos. *Gestión y Estrategia*, (38).
2. Frigg, R. (2004). In what sense is the Kolmogorov-Sinai entropy a measure for chaotic behaviour?—bridging the gap between dynamical systems theory and communication theory. *The British journal for the philosophy of science*, 55(3), 411-434.
3. Gleick, J. (1988). *Caos: la creación de una ciencia*. Seix Barral.
4. Hamel, G. (2008). *El futuro de la administración*. Editorial Norma.
5. Ibáñez, E. (2008). Las teorías del caos, la complejidad y los sistemas. *Santa Fé Argentina: Homo Sapiens*.

6. Katz, D., y Kahn, R.L. (1966). *The social psychology of organizations*. Nueva York: John Wiley and Sons.
7. Kondepudi, D. K., & Prigogine, I. (1998). *From Heat Engines to Dissipative Structures*. John Wiley & Son.
8. Kotler, P. H. I. L. I. P., & Caslione, J. (2010). *Caótica*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
9. López Yáñez, J. & Sánchez Moreno, M. (2000). Acerca del cambio en los Sistemas Complejos. En Estebaranz, A. *Construyendo el cambio: perspectivas y propuestas de innovación educativa*. Sevilla: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. ISBN: 84-472-0623-8.
10. Munné, F. (2005). ¿Qué es la complejidad? En F. Munné (coord.): *Encuentros en psicología social. La complejidad en la Psicología Social y de las Organizaciones* (pp. 6-18). Málaga: Aljibe.
11. Pastor, J. & León García-Izquierdo, A. (2007). Complejidad y Psicología Social de las Organizaciones. *Psicotherma* 2007. Vol. 19, nº2, pp. 212-217
12. Pons, J. A. M., Benito, F. A. V., & España, A. D. H. M. *La Entropía de Kolmogorov; su Sentido Físico y su Aplicación al Estudio de lechos Fluidizados 2D*.
13. Prigogine, I. (1997). *Las leyes del caos*. Editorial Drakontos.
14. Resnick, Mitchel (2001). *Tortugas, Termitas y Atascos de Tráfico*. Barcelona, Editorial Gedisa.
15. Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 5(1), 3-55.
16. Stewart, I. (1991). *¿Juega Dios a los dados?: la nueva matemática del caos*. Editorial Critica.