

Medición de la incertidumbre para una mejor proyección de escenarios

Rafael Aita Ramírez-Gastón
Universidad de Lima. Lima, Perú
Correo electrónico: raita@ulima.edu.pe

Recibido: 20 de marzo de 2014 / Aprobado: 8 de julio de 2014

RESUMEN: La turbulencia del entorno y la volatilidad del mercado son factores claves que determinan una creciente incertidumbre, la cual dificulta la proyección de escenarios para la empresa. El presente artículo busca estudiar la presencia de caos en los sectores industriales bajo los principios de la teoría del caos, a fin de proporcionar a ejecutivos, consultores y académicos un marco teórico que les permita cuantificar los niveles de incertidumbre y mejorar el proceso de proyección de escenarios.

Palabras clave: estrategia / información / teoría del caos / complejidad / efecto mariposa / incertidumbre / entropía

Measuring uncertainty for a more accurate scenario forecast

ABSTRACT: Environmental turbulence and market volatility are key factors of the increasing uncertainty that affects the process of scenario forecasting in the Enterprise. This article is seeking to study the presence of chaos in the industrial sectors under the principles of Chaos Theory in order to supply executives, consultants and academics a theoretical frame to quantify the levels of uncertainty and improve the process of scenario forecasting.

Key words: strategy / information / chaos theory / complexity / butterfly effect / uncertainty / entropy

1. EL MODELO LINEAL

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*. 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. Estos temas son recurrentes en los libros de gestión, donde se pronostica el nacimiento de una nueva teoría administrativa a la vez que se ve la necesidad de ella. Así lo expresa Gary Hamel (2008, p. 21): “¿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”. Los más conservadores apuntan que, por lo menos, los planes estratégicos tradicionales no son aplicables a la realidad de unos mercados cada vez más turbulentos. Según Kotler y Caslione:

[...] en tiempos caóticos, el tradicional plan estratégico de tres años es anacrónico e inútil. De hecho, el enfoque tradicional de la estrategia requiere predicciones precisas, lo que a menudo lleva a los ejecutivos a subestimar incertidumbre y caos causados por recurrente e impredecible turbulencia. En la era de la turbulencia, este enfoque puede ser francamente peligroso (2010, p. 87).

Ante esta nueva realidad, los principios de las teorías clásica y neoclásica administrativas quedan obsoletos, y dejan a los ejecutivos con herramientas pobres para el diseño de estrategias que se ajusten a las características de un mercado volátil. La respuesta ante esta nueva coyuntura no radica en abandonar la planificación, más bien es necesario un nuevo enfoque, el cual debe tener las características que muestra la figura 1.

Figura 1
Características del nuevo enfoque de planificación



Fuente: Hamel (2008).

La aceleración del cambio y la innovación continua se encuentran en el centro de estos retos, por lo que es imposible enfocarlos desde una visión clásica y lineal. Todos estos elementos requieren la comprensión de la interrelación existente entre sus distintos elementos y hace necesario que el nuevo enfoque de planificación sea complejo, dinámico y esencialmente no lineal. El mismo Hamel asegura que actualmente los mercados tienen un comportamiento no lineal: “Porque el cambio ha cambiado [*sic*]. Ya no es aditivo, ya no avanza en línea recta. En el siglo XXI el cambio es discontinuo, abrupto, sedicioso”, además, agrega que “en un mundo no lineal, solo las ideas no lineales crearán nueva riqueza” (Hamel, 2000, p. 5). Así lo afirma también 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.

Sin embargo, el gran error de los enfoques antes citados es confundir no-linealidad, aleatoriedad y caos, además de asociar todos estos conceptos con imprevisibilidad. 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 a simple vista, imprevisible y sin patrón perceptible alguno, pero a la vez es perfectamente estudiable y gerenciable. Este último concepto es el que nos interesa y será profundizado a través del concepto de *sistemas caóticos*.

2. 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 pueda predecir 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, 1987).

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 a largo plazo. 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 de que un sistema caótico es imposible de predecir en el largo plazo, este muestra un orden inherente en 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”. Estos principios del caos indican que, contrariamente a lo que dicta la bibliografía administrativa actual, existen patrones que hacen posible la planificación dentro de un entorno caótico. La base de ello será cuantificar los niveles de incertidumbre en dicho sistema.

En resumen, ¿cómo es posible diferenciar un sistema totalmente aleatorio de un sistema caótico? De acuerdo con el análisis de la naturaleza de estos sistemas, y en concordancia con Pons (2005), un sistema caótico debe presentar tres características:

- *Relación transitiva y autosimilitud.* Los sistemas caóticos muestran autosimilitud, con lo cual 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, y hace al sistema impredecible en el largo plazo; se trata del llamado *efecto mariposa*.

3. CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE QUE NOS RODEA

La tercera característica que define a un sistema caótico, la sensibilidad a las condiciones iniciales, es la fuente de incertidumbre a la hora de realizar la proyección futura de un escenario de negocios. Según Prigogine (1997), la sensibilidad a las condiciones iniciales consiste en que el más mínimo error en la condición inicial lleva a una amplificación exponencial durante el tiempo. Esta amplificación exponencial puede ser graficada a través de dos trayectorias x (trayectoria original) y x' (trayectoria infinitesimalmente desviada) que se van alejando exponencialmente en el tiempo.

La sensibilidad a las condiciones iniciales es la principal barrera para predecir el futuro, ya que una mínima alteración no considerada puede anular toda la predicción, por lo que se le considera como la principal causa de la presencia de incertidumbre. Por eso es importante que antes de realizar cualquier planificación se cuantifique el nivel de incertidumbre al que se enfrenta el ejecutivo, el cual se encuentra determinado por la sensibilidad a las condiciones iniciales del sistema. Para ello, existe una forma de medir la presencia de caos en un sistema, así como su sensibilidad a las condiciones iniciales tomando en cuenta el grado de orden (y desorden) en el sistema a través de la entropía.

La entropía es considerada una medida de información, lo cual llevó a Claude Shannon (1948) a diseñar una teoría matemática de la información sobre la base de la medición de la entropía. De acuerdo con el método de Shannon, se puede calcular la cantidad de información que provee un mensaje y la probabilidad de este 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 como 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, llamado *entropía de Kolmogorov*, se encuentra íntimamente relacionada con la probabilidad de ocurrencia de un evento y es una medida del grado de incertidumbre del evento. 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:

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

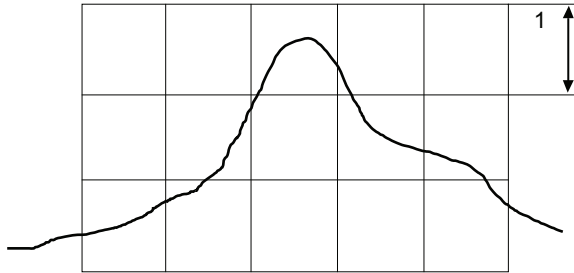
Con el logaritmo en base dos se obtienen *bits* como unidad de medida. En función de esta fórmula se realiza el cálculo de la entropía de Kolmogorov.

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. Este 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.

Después 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: Martínez & Vinagre (2005).

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

$$K_n = - \sum_{\theta..n} P_{1...n} \log P_{\theta...n}$$

Donde P_{θ} es la probabilidad de que el sistema se encuentre en la caja i_{θ} , en $t = T$ en i_1 y en T_n 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.

En conclusión, el cálculo de la entropía de Kolmogorov sirve para:

- 1) Determinar si la entropía de Kolmogorov se encuentra entre cero e infinito ($0 < K < \infty$), lo cual demostraría la presencia de un comportamiento caótico. Si la entropía de Kolmogorov es igual a 0, no se pierde información y el sistema es regular y predecible. Si $K = \infty$, el sistema es totalmente aleatorio y es imposible hacer cualquier predicción.
- 2) Determinar la cantidad de información que se necesita para predecir el comportamiento futuro de un sistema, en este caso, un sector empresarial.

- 3) Calcular la velocidad con la que el sistema pierde (o desactualiza) información en el tiempo.
- 4) Establecer el horizonte máximo de predictibilidad del sistema, aquella frontera a partir de la cual no se puede realizar predicción alguna, ni elaboración de escenarios.

4. CÁLCULO DEL HORIZONTE DE PLANEACIÓN

En planeamiento es recurrente la pregunta: ¿cuánto es el máximo de tiempo que puedo planear? Esta respuesta, que hasta ahora había sido empírica y cualitativa, puede ser cuantificada gracias a la entropía de Kolmogorov; como esta mide la pérdida de información del sistema en el tiempo, puede ser utilizada para determinar el horizonte máximo de planeación. Según Prigogine (1997) el Horizonte Máximo de Planeación, también llamado tiempo de Lyapunov, se calcula invirtiendo el exponente de Lyapunov. La entropía de Kolmogorov es el resultado de la suma de exponentes de Lyapunov, y en el caso de sistemas unidimensionales como el que se estudia en el presente artículo, el exponente de Lyapunov coincide con la entropía de Kolmogorov. Por lo tanto es posible calcular el horizonte máximo de planeación del sistema invirtiendo la entropía de Kolmogorov.

Tomando como ejemplo un escenario de negocios, se propone el caso en que existe un 70 % de probabilidad de que las ventas aumenten para el siguiente trimestre, así la entropía de Kolmogorov sería igual a:

$$K = -0.7 * \text{Log}_2(0.7) = 0.36 \text{ bits/trim}$$

Ello indica que se está perdiendo 0.36 bits de información al trimestre, por lo que el tiempo máximo de proyección hasta que se pierda toda información del sistema es de:

Tiempo de Lyapunov = $1 / 0.36 = 2.77$ trimestres, aproximadamente unos 8 meses y 9 días.

De acuerdo con este resultado, toda proyección de ventas fidedigna podrá hacerse dentro de los siguientes 8 meses y 9 días a la tasa de pérdida de información actual. A partir de ese límite no se podrán hacer predicciones confiables acerca de aquel escenario y por lo tanto cualquier estrategia será inútil. En conclusión, antes de estudiar la manera de hacer una proyección fidedigna a largo plazo se debe calcular si es posible hacerlo con cualquier tipo de proyección.

Lógicamente, la forma de incrementar el horizonte de planeación será aumentando la certeza de ocurrencia de un escenario. Si se tiene un escenario futuro menos incierto, por ejemplo, la probabilidad de que Google siga siendo el buscador más usado de Internet para el próximo año y se calcule que existe un 90 % de probabilidad de ocurrencia de este evento 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

Esto indica que los planes que involucren a Google como líder de buscadores en Internet pueden extenderse hasta los 7.3 años. Por ello, se puede afirmar que existen casos donde es posible realizar planes a largo plazo, pero es necesario identificar cuáles son cuantificando la incertidumbre de cada escenario y su respectivo horizonte de planeación.

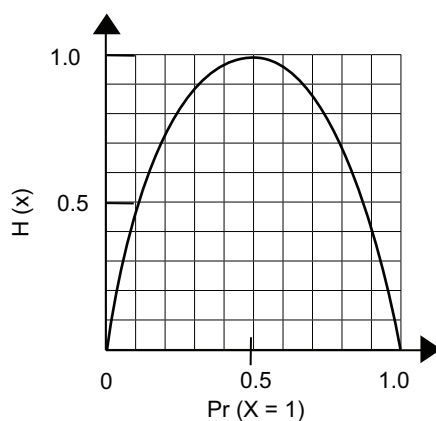
Nótese que este horizonte de tiempo es independiente del pasado histórico de la empresa en función de la cual se hace la proyección. Según Smith (2011), en la década de 1920, Yule logró cuantificar el grado en que los datos del año en curso sobre las manchas solares proporcionaban más información sobre el número de manchas que aparecería al año siguiente que los datos de los 10 años pasados. 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.

5. LA ENTROPÍA EN EL CENTRO DE LA PROYECCIÓN DE ESCENARIOS

En un entorno caótico, el nuevo centro estratégico debe estar en la lucha contra el incremento entrópico, lo cual solo puede ser logrado a través de la generación de información. Para esto es necesario ver el principal causante del incremento de incertidumbre en el proceso de planeación.

Para un escenario de dos posibilidades, el máximo nivel de incertidumbre se encuentra cuando ambos escenarios tienen igual probabilidad de ocurrencia (50 %), ya que la ocurrencia de uno o del otro se da prácticamente por azar. Es bajo esta probabilidad que se da el máximo nivel entrópico, según se muestra en el gráfico 2.

Gráfico 2
Entropía de una fuente binaria según su probabilidad de ocurrencia



Fuente: Faúndez (2001).

Cualquier otra combinación de probabilidades para dos escenarios dará una entropía menor que una combinación de 50-50% de ocurrencia. Por ello, 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, 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, tal vez más importante que la primera, 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.

Como puede verse en el ejemplo anterior, si en lugar de proyectar dos escenarios se proyectan cinco escenarios futuros (todos ellos con la misma probabilidad de ocurrencia), se eleva el incremento de entropía, 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 de que en ambos casos todos los escenarios tienen la misma probabilidad de ocurrencia, en el segundo existe más entropía. Un mayor número de escenarios genera una mayor incertidumbre.

Esta conclusión puede ir contra la lógica popular, ya que siempre se ha sostenido que mientras sea mayor el abanico de posibilidades por considerar, más preparado se está para el futuro. La solución a esta paradoja se encuentra al invertir los enunciados: no es que se tiene una mayor información al manejar una menor cantidad de escenarios futuros, sino que se maneja una menor cantidad de escenarios futuros al hacer una prospectiva más detallada y se tiene información de mayor calidad. En resumen, mientras menos sabemos, más se va a abrir el espectro de posibilidades futuras.

El nuevo objetivo de la prospectiva estratégica debe radicar en acotar el número de escenarios sobre la base de un análisis más detallado en cada una de sus etapas, de tal manera que el objetivo de acotar el número de escenarios será el más importante para la reducción de la entropía del sistema. Para alcanzar este objetivo se analizará el proceso de proyección de escenarios a fin de detectar los puntos donde reducir el incremento de entropía a través del estrechamiento del número de escenarios proyectados.

6. REDUCCIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN EL PROCESO DE PROSPECTIVA A TRAVÉS DE LA REDUCCIÓN DE ENTROPÍA

El primer paso del proceso de prospectiva es la identificación de los *drivers* que determinarán el futuro. Según la escuela anglosajona, el *driver* es la unidad básica de incertidumbre, por lo que la importancia en su correcta determinación radica en que el futuro es construido

por la combinación de *drivers* en el tiempo (Ortega, 2013). La precisa identificación de *drivers* y sus movimientos futuros son el primer momento para reducir la gama de escenarios proyectados, ya que el número de escenarios dependerá directamente del número de *drivers* identificados.

Al llegar a este punto, siempre surge el problema de considerar los *drivers* menos probables (acontecimientos inesperados), lo que puede elevar en gran medida el número de escenarios futuros. Por ejemplo, si se tiene tres *drivers* con tres movimientos cada uno, la combinación entre ellos dará nueve escenarios, si se agrega un *driver* más con tres movimientos el número final de escenarios se elevará a 81.

Por otro lado, el temor de ocurrencia de un suceso que al ser tan improbable no ha sido tenido en cuenta en ningún análisis, pero que termina sucediendo e invalidando el plan diseñado, lleva a pensar que es necesario considerar el máximo número de *drivers* posibles. Para resolver esta paradoja es necesario dejar de lado la clasificación de *drivers* a través de su probabilidad de ocurrencia para centrarse en un aspecto más importante para un sistema caótico: si es un *driver* de evolución o de ruptura.

Para ilustrar esta diferencia tomaremos como ejemplo el plano tecnológico: ¿quién pudo haber anticipado la revolución informática o el crecimiento exponencial de Internet? Este ejemplo de hecho imprevisto y aparentemente poco probable suele ilustrar más bien las deficiencias de un análisis del entorno realizado de forma incompleta y por lo tanto impide anticiparse a estos sucesos. De hecho, desde la invención del primer servidor WWW en 1990 en el CERN de Ginebra podían vislumbrarse claros indicios de una red mundial. Sin embargo, ¿cuántos planes estratégicos incorporan la inminente salida al mercado de aquellos productos que se encuentran en fase experimental en el laboratorio, pero que darán forma a la sociedad del mañana?

Los experimentos actualmente exitosos en los campos de computación cuántica o teletransportación de información son una realidad que conducirán a una nueva revolución industrial y que son enormemente ignorados por la mayoría de directivos empresariales. Esta falta de amplitud en la investigación muestran las deficiencias del análisis del entorno clásico del plan estratégico. De acuerdo con esta naturaleza del cambio en los sistemas, es posible ver las señales de la turbulencia en los pequeños cambios continuos, que suelen pasar desapercibidos al

pensar que no son acumulables o no sinérgicos entre sí, dando la falsa ilusión de que la turbulencia “apareció de la nada”. El análisis del macroentorno deberá incluir dentro de las variables políticas, económicas, sociales, ambientales y tecnológicas los “*drivers* de ruptura”, como fue la aparición de Internet en la década de 1990 o como lo será la computación cuántica en las próximas décadas.

Los *drivers* de ruptura se definen entonces como aquellos acontecimientos generadores de periodos de turbulencia donde el macro- y microentorno serán reestructurados. Una buena identificación de *drivers* no deberá centrarse en los más probables o menos probables, sino centrarse en detectar los *drivers* de ruptura que generarán los próximos periodos de turbulencia y reacomodación del sistema.

La importancia de detectar los *drivers* de ruptura radica también en que es poco prudente, por no decir imposible, tratar de proyectar un escenario más allá del periodo de turbulencia. Las consecuencias de la turbulencia son impredecibles y establecen el horizonte máximo de proyección y tal vez de planeación, a no ser que se incorpore en la planeación las acciones para diseñar un escenario postturbulencia, según la visión de la empresa. Esto puede suceder cuando es la propia empresa la que genera la turbulencia a raíz de un adelanto tecnológico o una innovación disruptiva.

La identificación de los *drivers* de ruptura ayudará a reducir su número con el fin de acotar la gama de escenarios proyectados, ya que eliminarán todos aquellos *drivers* que los sobrepasen en tiempo.

Luego de identificar y validar los *drivers* que se van a utilizar en el análisis, el siguiente paso de la proyección de escenarios es el de construir y validar los escenarios proyectados. En este paso se combinan los distintos *drivers* y sus movimientos posibles para generar escenarios a través de herramientas como el análisis estructural, los ejes de Schwartz o el análisis morfológico. En esta siguiente etapa se encuentra una nueva oportunidad para acotar el número de escenarios finales.

El análisis morfológico consiste en la combinación de los *drivers* detectados en la etapa anterior. Cada combinación dará como resultado un escenario distinto, de tal manera que el número de escenarios crecerá exponencialmente con el número de *drivers* utilizados. Sin embargo, no todos los *drivers* son consistentes entre sí. Con el fin de reducir el crecimiento entrópico en el tiempo, se deberá orientar el análisis a eliminar los escenarios que combinen *drivers* inconsistentes. Esta etapa

brinda otra oportunidad para reducir el número de escenarios finales y así reducir el incremento de entropía e incertidumbre al hacer una proyección en el tiempo.

7. RECOMENDACIONES PARA PLANEAR EN UN ENTORNO TURBULENTO

- Debe determinarse si la empresa se encuentra en un entorno regular, un entorno totalmente aleatorio o un entorno caótico. Si la empresa se encuentra en un entorno regular, es factible aplicar el plan estratégico tradicional; si se encuentra en un entorno completamente aleatorio, es imposible realizar alguna predicción en el futuro; si 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.
- Los entornos caóticos, complejos y no-lineales no pueden ser analizados bajo las herramientas tradicionales del plan estratégico, ya que estas se basan en fragmentar el sistema en cada una de sus partes, estudiando cada una de ellas por separado. Sin embargo, el marco teórico nos indica que un sistema complejo muestra propiedades emergentes de las interrelaciones de sus elementos y que se pierden al dividir al sistema en sus respectivas partes. Para estudiar un sistema complejo es necesario un enfoque integral, holístico y no-lineal.
- La planeación estratégica para un sector con características caóticas debe girar alrededor de la disponibilidad de información, su ganancia y velocidad de desactualización. 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 probabilidad de ocurrencia de los escenarios futuros en la entropía de Kolmogorov. Esta medición brinda también un horizonte máximo de planeación a partir del cual no se puede realizar ningún pronóstico. Todo diseño de estrategia debe ir de la mano con el grado de información asociado a su elaboración y tener como objetivo reducir el incremento de entropía del sistema y, en consecuencia, su volatilidad y turbulencia.

- La proyección de escenarios debe tener como horizonte máximo de planeación el tiempo de Lyapunov calculado, ya que a partir de ese horizonte no se puede realizar ninguna predicción fiable. Este horizonte debe coincidir con la aparición de sucesos o “drivers de ruptura” que cambian las variables políticas, económicas, sociales y tecnológicas del entorno. Dentro del tiempo de Lyapunov se debe buscar reducir el nivel de incertidumbre en la proyección de escenarios a través de una acotación del número de estos, ya que a menor número de escenarios menor nivel de incertidumbre en la planeación.

REFERENCIAS

- Barba, A. (2010). Frederick Winslow Taylor y la administración científica: contexto, realidad y mitos. *Gestión y Estrategia*, 38.
- Faúndez, M. (2001). *Sistemas de comunicaciones*. Barcelona: Marcombo.
- 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.
- Gleick, J. (1987). *Caos: la creación de una ciencia*. Barcelona: Seix Barral.
- Hamel, G. (2000). *El futuro de la administración*. Bogotá: Norma.
- Hau, L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). The bullwhip effect in supply Chains. *Sloan Management Review*, 38(3), 93-102.
- Ibáñez, E. (2008). *Las teorías del caos, la complejidad y los sistemas*. Santa Fé de Argentina: Homo Sapiens.
- Kondepudi, D., & Prigogine, I. (1998). *Modern thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures*. England: John Wiley & Son.
- Kotler, P., & Caslione, J. (2010). *Caótica*. Bogotá: Norma.
- Martínez, J., & Vinagre, F. (1992). *La entropía de Kolmogorov; su sentido físico y su aplicación al estudio de lechos fluidizados* (2.^a ed.). Madrid.
- Prigogine, I. (1997). *Las leyes del caos*. Barcelona: Drakontos.

- Resnick, M. (2001). *Tortugas, termitas y atascos de tráfico*. Barcelona: Gedisa.
- Shannon, C. (1948). A mathematical theory of communication. *ACM Sigmoble Mobile Computing and Communications Review*, 5(1), 3-55.
- Stewart, I. (1991). ¿Juega Dios a los dados? *La nueva matemática del caos*. Barcelona: Crítica.