

## ENTROPÍA Y DINÁMICA, ¿QUÉ NUEVAS CONTRIBUCIONES PARA LAS CIENCIAS DE LA GESTIÓN?

Juan **Morúa Ramírez**  
Université de Lorraine, France  
j\_morua@hotmail.com

### **Resumen**

El concepto de entropía tiene sus orígenes en la teoría de la termodinámica, específicamente en su segunda ley, este concepto propio de los sistemas dinámicos es útil para explicar el equilibrio, la evolución, la degradación, la difusión, las interrupciones e inclusive la relación tiempo-universo, por lo que es utilizada en diferentes ciencias como la física, la química, la sociología. En las ciencias de gestión se ha intentado importar este concepto desde los años 60, pero siendo ésta una noción muy amplia y utilizada bajo un enfoque positivista de la ciencia, se ha prestado a múltiples confusiones. En el presente artículo buscamos hacer una revisión de estos diferentes conceptos para posteriormente explicar su utilidad en la teoría y en la práctica de la gestión.

**Palabras clave:** Entropía, dinámica, filosofía de las ciencias de la gestión

### **Abstract**

The concept of entropy has its origins in the theory of thermodynamics, specifically in the second law, this concept of dynamic systems is useful for explaining the equilibrium, evolution, degradation, diffusion, interruptions and even the relationship time-universe, for that it is used in different sciences such as physics, chemistry, sociology. In management has tried to import this concept from the 60s, but this remains a very broad concept and being used under a positivist approach of science, has been paid to multiple confusions. In this article we seek to make a review of these different concepts for explain its usefulness in the theory and practice of management.

**Key words:** Entropy, dynamics, management science philosophy.

## INTRODUCCIÓN

Una de las mayores aportaciones de las ciencias es la teoría de sistemas (von Bertalanffy, 1993), aunque los sistemas no existen por sí mismo en la naturaleza (Lizarralde, Larrasquet, y Coutts, 2011) podemos calificarlos como representaciones útiles para el estudio y comprensión de la mayoría de los fenómenos que nos rodean (Lapierre, 1992) permitiéndonos clarificar el funcionamiento, la dinámica, el contexto y los elementos con los que estos interactúan (Le Moigne, 1999). Así, un sistema puede estar contenido en un supra-sistema y al mismo tiempo puede estar compuesto de subsistemas (von Bertalanffy, 1993).

Ante esta capacidad de definición, numerosas clasificaciones han sido propuestas. La mayoría contemplando la característica ligada al dinamismo que éstos mantienen, ya sea con sus elementos internos o en interacción con su medio ambiente. Por tanto, podemos afirmar que un sistema estático representa un fenómeno muy raro en la naturaleza (Le Moigne, 1994).

Esta característica de dinamismo es de nuestro interés para desarrollar el presente artículo, inscribiéndonos en un enfoque orientado hacia las ciencias de gestión. Las cuales han sido y siguen siendo influenciadas por el paradigma positivista (Martinet, 1990) que se encuentra ligado a una idea newtoniana de la dinámica, inspirada por el ciclo determinista de la rotación de los astros (Prigogine y Stengers, 1986). Esta idea positivista ya ha sido rebasada en otras ciencias, la dinámica ya no representa solamente al movimiento determinista y causal de un sistema en el tiempo, involucra también fenómenos diversos como el consumo y dispersión de energía, la emergencia, la transformación y las interrupciones ligadas a la interacción de sistemas también dinámicos (Morua y Schmitt, 2012). Pero en gestión tal parece que estudiamos a la dinámica siempre centrados en su función como adjetivo calificativo y de una manera determinista y causal (Schindehutte y Morris, 2009), sin intentar comprender realmente lo que esta noción nos explica o nos debe de explicar (Morua, 2013).

Con el objetivo de hacer contribuciones teóricas que permitan el desarrollo de la teoría de la ciencia de la gestión, surge la pregunta: ¿qué nuevas contribuciones pueden aportar los conceptos entropía y dinámica en las ciencias de gestión? Para responder a dicha pregunta hemos dividido el presente artículo en dos partes; la primera hace un recorrido histórico de la dinámica y de la entropía, desde el enfoque positivista hasta el enfoque constructivista de las ciencias, y desde el enfoque de equilibrio hasta el enfoque de complejidad de los sistemas; la segunda parte es dedicada a hacer una reflexión sobre la utilidad de este concepto en la aplicación de la teoría y de la práctica de gestión, proponiendo un modelo de aplicación que considere a la entropía y a la dinámica.

## LA ENTROPÍA Y LA DINÁMICA, UN RECORRIDO HISTÓRICO DEL CONCEPTO LA DINÁMICA EN LA FÍSICA NEWTONIANA

Aunque la idea de representar de una manera dinámica el mundo tenga sus orígenes muy antiguos, por ejemplo: la idea de Heráclito, que alrededor del año 500 a.C. representaba al mundo fluido utilizando la frase: “no puedes lavarte dos veces las manos con la misma agua de un río”, con la cual ejemplificaba la unidirección el paso del tiempo y la irreversibilidad del mundo dinámico (Donnadieu y Karsky, 2002). El estudio formal de la dinámica tiene en sus orígenes en física newtoniana, la cual mediante una idea positivista de la ciencia propone la división analítica, la posibilidad de reversibilidad de los fenómenos y la objetividad de la ciencia al proponer la separación entre objeto y sujeto (Genelot, 2001).

En efecto, en la llamada ciencia clásica, la dinámica de los fenómenos era dividida analíticamente, sin considerar varias trayectorias a la vez o diferentes colisiones entre objetos, era reducida y simplificada

al estudio de trayectorias y velocidad, era limitada a un determinismo causal inspirado en la idea de un péndulo universal y de un mundo interpretado como la maquinaria de un reloj perfecto (Prigogine y Stengers, 1986). La labor científica era entonces descubrir estas leyes universales que rigen la naturaleza, con las cuales el ser humano sería capaz de tener el control de todos los fenómenos y a su vez tendría la capacidad de predecirlos.

Así, considerando la idea causal y determinista del movimiento junto con la reversibilidad de los fenómenos, el futuro podría ser fácilmente conocido a través del estudio del pasado. Esto requería el control de todos los elementos, incluyendo al factor humano, y la reducción de todo factor de variabilidad posible (Morua, 2013). Surgiendo imágenes representativas como el demonio de Laplace que hace referencia a un ser que conoce las leyes de la naturaleza y que puede predecir, conociendo las condiciones iniciales, el comportamiento pasado y futuro del universo en todos sus aspectos (Gribinn, 1984).

Pero el éxito de la idea positivista de la dinámica conoce rápidamente sus limitaciones con los estudios de H. Poincaré, el cual considerando solamente tres fenómenos dinámicos en interacción, observó que un pequeño cambio en un sistema dinámico, por muy pequeño que este sea, causa a largo plazo un comportamiento inesperado e imprevisible (Prigogine y Stengers, 1986). Introduciendo con esto las ideas, bajo las cuales se inspiraría la teoría de caos y el estudio de la meteorología moderna (Prigogine, 1994).

Bajo estas limitaciones, los estudios sobre la dinámica, principalmente referidos a los sistemas abiertos como la empresa, requieren ser analizados de una manera diferente de la sugerida por la ciencia clásica (Morua, Marin, y Schmitt, 2014), así, para su estudio surge la idea de la utilización de la segunda ley de la termodinámica.

## LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Aunque la termodinámica tenga sus orígenes en el siglo xviii, con los trabajos del francés Sadi Carnot que estudiaba por primera vez el rendimiento de las máquinas de vapor (Georgescu-Roegen, 1995), sus ideas fueron en un principio limitadas a la llamada ciencia “del fuego” (Prigogine y Stengers, 1986) hasta que fueron retomadas posteriormente por Clausius y Kelvin, quienes fundaron el estudio de la termodinámica.

La máquina térmica que estudia Carnot, generaba a través de la diferencia de temperatura el movimiento, es decir el cambio de una energía calorífica a una energía cinética. Inspirando con esto el establecimiento del primer principio de la termodinámica, es decir el principio de conservación de la energía, que establece que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma (Morin, 1999). Pero la máquina térmica ideal imaginada por Carnot, requería que las diferentes partes conservaran una temperatura totalmente diferente, es decir, para mejorar el desempeño de las partes, la parte caliente y la parte fría deberían de conservar su temperatura, es decir la parte caliente seguir caliente y la parte fría seguir fría. Por tanto un aumento en la eficiencia necesitaba un aumento de calor y un aumento de frío respectivamente, así un sistema equilibrado, es decir de temperaturas iguales, correspondería a un sistema totalmente inoperante (Lugan, 2002).

En la vida real una máquina térmica perfectamente eficiente no existe, dado que siempre está presente una disipación del calor que el sistema no puede utilizar, en otros términos, energía que se disipa y que el sistema no utiliza y no recupera, es decir “entropía”. Ésta puede ser definida como: la medición de la energía no utilizable que se disipa dentro de un sistema termodinámico cerrado, esta disipación con el tiempo tiende a forzar al equilibrio al sistema y como hemos visto a su inoperatividad (Georgescu-Roegen, 1995). Así, como lo demostró R. Clausius, la noción de equilibrio puede ser

considerado como sinónimo de una energía mínima y, como lo veremos, de una entropía máxima, lo que conduce a la desintegración o muerte de un sistema (Lugan, 2002) en donde no existe ninguna dinámica.

En efecto, dentro de un sistema cerrado, toda transformación es acompañada inevitablemente de un crecimiento de la entropía en donde existe una degradación irreversible que crece hasta llegar a un estado de homogenización máximo y de equilibrio térmico, estado en el cual desaparecerá toda aptitud de trabajo y toda posibilidad de transformación (Lugan, 2002). Esta disipación irreversible de la energía que conduce al sistema al equilibrio fue establecida como el segundo principio de la termodinámica o principio de la entropía (Morin, 1999).

## **LA ENTROPÍA Y LA DINÁMICA EN SISTEMAS ABIERTOS: UN VIAJE HACIA LA COMPLEJIDAD**

Anteriormente hemos estudiado la relación entropía y dinámica desde el punto de vista de la termodinámica sobre la cual se han expuesto dos leyes: la primera, marca la idea de la conservación de la energía y bajo la lógica de que toda generación de energía crea calor; la segunda, menciona que en toda generación de energía siempre existirá una parte que el sistema no utilizará y que será disipada en forma de calor. Pero ¿qué sucede en los sistemas relacionados? es decir, en la interacción de dos o más sistemas. En una relación termodinámica, dos cuerpos que intercambian calor tienden al equilibrio térmico es decir, a poseer la misma temperatura si es que no existe una fuente exterior que los obliga a cambiar (Lugan, 2002).

Este fenómeno se puede ejemplificar fácilmente al introducir en un vaso con agua un trozo de hielo, los dos elementos van a interactuar y cambiar de temperatura, con el paso del tiempo este último perderá sus características haciendo un líquido homogéneo con la misma temperatura, es decir en equilibrio térmico. En efecto, una vez que el calor del sistema es difundido al punto en el que la temperatura es uniforme en el sistema entero, la difusión del calor no puede ser invertida sin una intervención exterior (Georgescu-Roegen, 1995) dando paso al fenómeno de irreversibilidad.

En el caso de sistemas abiertos, estos conceptos pueden ser tomados para explicar la relación dentro de un sistema más grande, como el planeta o el universo, en donde diversos sistemas utilizan energía para funcionar, disipando energía que no usan, intercambiando con esto temperaturas, en una relación dinámica que los hace evolucionar. En efecto, en los sistemas abiertos el dinamismo es casi omnipresente, creado en una relación recursiva por: los intercambios, la generación de energía y la creación de entropía. Por lo que en un sistema abierto la dinámica del mismo está condenada, debido a la entropía, a sufrir interrupciones, causales o aleatorias, de grados diferentes y en momentos aleatorios (Morua y Schmitt, 2012).

Así, observamos que el estudio de la dinámica, pasa de una idea de causalidad/determinismo, a una idea de interacción/entropía, pero nos falta revisar otra relación que es la originada por los estudios de la teoría de complejidad, en donde dinámica y entropía están ligadas a la idea de orden-desorden-organización. En efecto, la noción de entropía que al principio es definida como la degradación de la energía, fue ampliada a principios del siglo xix gracias a los estudios de Boltzmann (Prigogine y Stengers, 1986), quien situó sus experimentos a un nivel molecular, mostrando que a nivel microscópico el calor provoca movimientos desordenados en las moléculas.

En efecto, si consideramos las transformaciones que sufren los elementos al ser sometidos a diferencias de temperatura, por ejemplo el cambio químico que sufre el acero durante el temple, observamos que existe un aumento de dinamismo a nivel molecular durante la aplicación de calor. Por consecuencia a todo aumento de calor corresponde un aumento de agitación y de aceleración de

movimiento debido a que la forma calorífica de la energía genera un desorden en los movimientos y por lo tanto conlleva a una degradación inevitable de la capacidad del sistema a generar trabajo (Morin, 1999).

Así, considerando los sistemas abiertos como sistemas dinámicos, podemos observar entonces que la naturaleza misma no obedece a un orden ni a un determinismo como regla universal, como el ciclo planetario descrito por los positivistas, sino al contrario está ligada a la idea de desorden, incertidud y complejidad (Morin, 2005). Por lo que en los sistemas abiertos la entropía se puede definir como una medida de desorden (Morin, 1999), la cual en su estado máximo va a conducir a estados homogéneos y por consecuencia a la muerte total del sistema, es decir un orden perfecto.

Si consideramos que a todo aumento de la entropía corresponde un aumento del desorden interno, la entropía máxima corresponderá a un desorden molecular total al interior de un sistema, manifestándose por la homogenización y el equilibrio (Morin, 1999). Así, el segundo principio no sólo se puede considerar en términos de trabajo, se puede considerar en términos de orden y de desorden, dos elementos en constante interacción, considerando a este último como más común en la naturaleza dado que el desorden es dinámico y generador de entropía.

Entonces, el segundo principio ya no hace referencia únicamente a la capacidad de producir trabajo de un sistema, sino que se explica en términos de orden y desorden, las cuales son dos nociones opuestas que requieren un tercer elemento con el que se crea la base trinitaria de la teoría de la complejidad: la organización, la cual para ejemplificarla podemos utilizar la unión de dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno, los cuales crean un elemento con propiedades totalmente diferentes: el agua, si consideramos que el primer componente es un combustible y el segundo un elemento catalizador para el fuego, observamos que en su unión (organización) se crea un elemento con propiedades totalmente heterogéneas de sus componentes.

Con estas ideas de orden-desorden-organización surge la teoría de la complejidad como el estudio de sistemas altamente dinámicos que poseen una gran cantidad de interacciones y retroacciones generando procesos difíciles a predecir y a controlar (Morin, 2007).

## **LA ENTROPÍA Y LA DINÁMICA: SU ROL EN LA EVOLUCIÓN**

Como anteriormente lo hemos mencionado, los estudios conducidos por Poincaré permitieron observar que en los sistemas dinámicos, un pequeño cambio en las condiciones iniciales origina trayectorias totalmente diferentes (Prigogine, 1994), permitiendo romper con la idea de la dinámica determinista y causal, y dando pie al estudio de los sistemas complejos. En efecto, si observamos que un sistema abierto mantiene una gran relación dinámica con su medio ambiente, dicho dinamismo crea grandes dificultades para predecir sus estados futuros, sobre todo si es sometido e influenciado no sólo a su propia dinámica y su propia entropía, sino también por la de los sistemas con los que éste interactúa (Prigogine y Stengers, 1986).

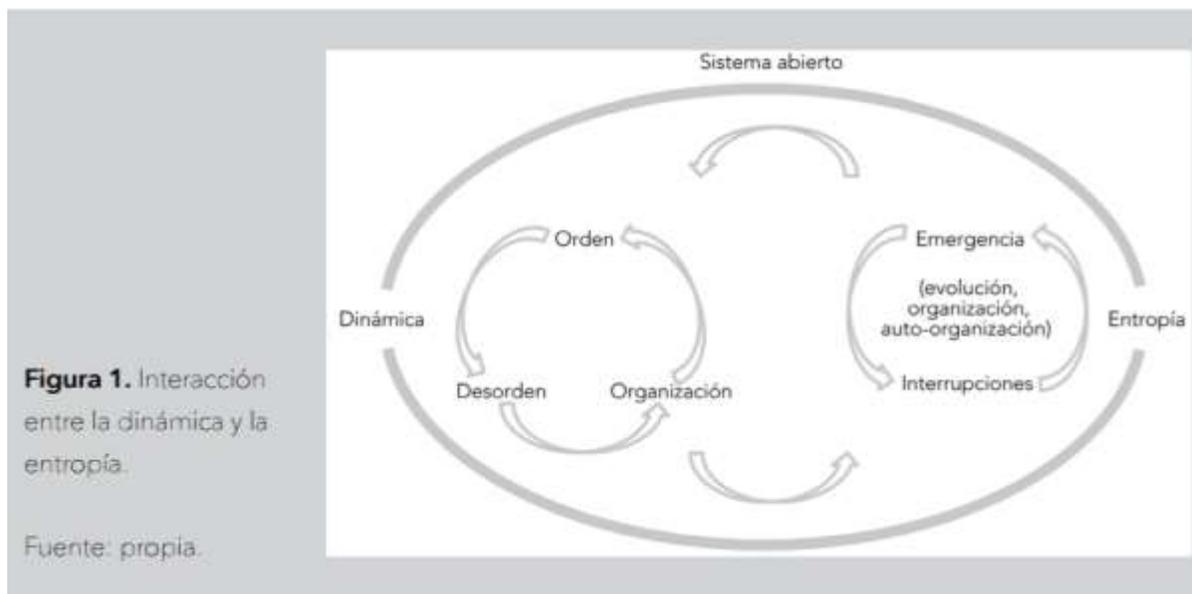
Por otra parte, tomando en cuenta que en los sistemas abiertos la energía puede ser importada continuamente dentro del sistema, a diferencia de los sistemas cerrados que se oponen a la entrada del flujo de energía, E. Schrödinger establece en 1945 un punto de vista totalmente diferente entre la entropía y los sistemas abiertos, específicamente en las organizaciones vivas, sugiriendo la idea de que la entropía no es solamente algo negativo para el sistema, sino que esta ayuda al organismo vivo a evolucionar (Morin, 1999) surgiendo así la idea de la neguentropía (Lugan, 2002).

Este concepto nos permite entender que un organismo vivo es dinámico, dado que interactúa ininterrumpidamente con su medio ambiente y evoluciona gracias a su lucha contra la entropía, en

tanto que en los sistemas dinámicos cerrados a la evolución se establece solamente en un sentido en el que la entropía es creciente y por tanto tienden a la degradación (Morin, 1999). En términos termodinámicos, una organización es neguentrópica si está dotada de virtudes que le permitan organizarse, esto genera un bucle recursivo que le permite (re)producirse a ella misma (Fortin, 2000). Así, el combate contra la degradación entrópica es característico de la vida misma, esto no comprende una violación a la segunda ley, dado que la entropía sigue presente y el organismo reacciona tomando energía y evolucionando para mantener en un estado estable o reducir su propia entropía (Georgescu-Roegen, 1995) así, Prigogine indica que en donde la energía crece, la entropía decrece y el orden y la organización se desarrollan (Lugan, 2002).

Bajo esta situación neguentrópica, la información es utilizada por el sistema vivo, tanto para controlar sus estados como para evolucionar. Esta idea fue aplicada por Shannon (1948) al estudiar los sistemas de información y su relación con la entropía (Isik, 2010), estableciendo medidas estadísticas y probabilísticas para los diferentes estados en un sistema de información (Allen y Boulton, 2011). Entonces, si la entropía interna crece dentro de un sistema abierto, las transferencias de información, de energía y de otros elementos permiten disminuir el nivel de entropía (Lugan, 2002).

Por tanto, hablando de sistemas abiertos, un sistema dinámico sólo se puede pilotear si se conocen sus condiciones iniciales, así, una preparación adecuada del sistema puede originar la evolución hacia un estado predeterminado, si este tiene la capacidad de obtener y procesar la información necesaria para activar un proceso neguentrópico (Prigogine y Stengers, 1986). Este proceso, es el rostro termodinámico de toda regeneración, reorganización, producción y reproducción de organización en un sistema (Morin, 1999), el cual a su vez origina la autoorganización y motiva la evolución del mismo. Así, dinámica y entropía (incluyendo la neguentropía) permiten en un momento dado que la evolución se acelere, siendo el sistema en sí mismo que decide cambiar o no al autoorganizarse (Varela, 1996) (véase figura 1).



De una manera general, debido a este proceso dinámico/entrópico, la evolución de todo metasistema tiende a incrementarse en un momento dado. Originando que se desarrollen nuevas características dentro de los subsistemas, creando una competencia en respuesta a sistemas similares de los que copia o desarrolla otras características, las cuales, a su vez, aceleran el proceso de evolución. Iniciando todo en un punto de bifurcación en donde la trayectoria del sistema establecerá un camino

diferente (Prigogine, 1994), es decir, en términos termodinámicos la evolución tiende a acelerarse (Roddien, 2010).

## LA INCERTIDUMBRE EN LOS SISTEMAS DINÁMICOS

Como hemos visto, el determinismo y la causalidad son fenómenos limitados en el estudio de la dinámica de sistemas abiertos (Allen y Boulton, 2011), por tanto, el control de la dinámica de un sistema se define con base en la probabilidad (Prigogine y Stengers, 1986). Para los sistemas complejos es evidente que las formulaciones estadísticas y matemáticas encuentran rápidamente sus límites (Lugan, 2002), sobre todo si agregamos las aportaciones de E. Schrödinger y de W. Heisenberg, los cuales estudiando la mecánica cuántica mostraron la imposibilidad de la separación entre el objeto y el sujeto en la ciencia, lo que apoyaría el nacimiento de la epistemología constructivista y del principio de incertidumbre que demostraba la imposibilidad de medir dos variables físicas a la vez en un experimento dinámico cuántico (Gribinn, 1984).

Adoptando un enfoque en el cual la dinámica de los sistemas abiertos los transforma en sistemas complejos, sobresale la característica de incertidumbre propia al individuo que lo observa o lo estudia (Girin, 2012). Así, un sistema abierto no es controlable, no es determinista, no es casual, sino todo lo contrario, éste requiere: una formulación estadística relativamente precisa (Lugan, 2002); individuos expertos y conocedores del sistema que reconozcan que lo imprevisto puede pasar; la comprensión que el paso del tiempo va a causar degradaciones, disipaciones, pero también autoorganizaciones y emergencias de nuevas características (Morua y Schmitt, 2012).

A manera de resumen presentamos en la tabla 1, las diferencias entre los sistemas u organizaciones dinámicas y no dinámicas frente a la entropía.

**Tabla 1.**

Entropía y neguentropía en los sistemas:

Organización productora de sí misma Procesos neguentrópicos	Organización no activa Procesos solamente entrópicos
Degradación y renovación de la energía.	Degradación de la energía.
Transformación y trabajo necesarios a para la organización.	Transformación y trabajo degradan la organización hasta la imposibilidad de transformarse y trabajar.
Metadesequilibrio, metainestabilidad.	Tendencia irreversible al equilibrio
Orden organizacional (repartición de elementos constitutivos según la organización).	Desorden organizacional (repartición de elementos constitutivos al azar).
Heterogeneidad interna.	Homogeneidad interna.
Reorganización, regeneración.	Desorganización, degeneración.
Constitución de una probabilidad temporal.	Probabilidad física.

Fuente: Morin, 1999 p. 37.

Basados en este resumen histórico de la dinámica y de la entropía nuestra siguiente tarea es de responder a la pregunta ¿qué nuevas contribuciones pueden aportar dichos conceptos a las ciencias de gestión?

## **LA ENTROPÍA Y LA DINÁMICA EN CIENCIAS DE LA GESTIÓN ACCIÓN, DINÁMICA, ENTROPÍA Y GESTIÓN**

Dentro del presente artículo, consideramos a las ciencias de gestión como ciencias de la acción (Argyris, 1995), lo que implica para el investigador el establecer proposiciones que los actores puedan utilizar para llevar a cabo eficazmente en la práctica y para el practicante de gestión implica ligar acción/reflexión en un proceso continuo (Martinet A., 2007). Bajo esta idea de accionabilidad, Avenier (2004, p. 26) propone dos vías diferentes para desarrollar saberes accionables en ciencias de gestión:

- Trabajar sobre teorías generales o metateorías a partir de categorías idealizadas que representen los fenómenos de la empresa.
- Conducir las investigaciones dentro de proyectos específicos guiados por preocupaciones concretas de los practicantes de gestión.

Ambas requieren que el investigador se apoye en un amplio soporte epistemológico (David, 2007) que le permita validar los conocimientos elaborados al ligar conceptos y praxis en una serie continua de actividades y de hechos (Rojot, 2005). Nosotros nos inscribimos en la primera de las categorías señaladas, reconociendo a su vez que la empresa es un sistema dinámico sometido a los efectos de la entropía, por lo que puede ser estudiado como un sistema complejo.

## **LA ENTROPÍA Y LA DINÁMICA EN LAS CIENCIAS Y TÉCNICAS CONEXAS A LA GESTIÓN**

En varias ciencias y técnicas conexas a la gestión se han aplicado las ideas que acabamos de exponer sobre la dinámica y la entropía. En un primer caso enfocadas a la dinámica, numerosas técnicas y herramientas ligan métodos estadísticos, probabilísticos e informáticos, tal es el caso de los esfuerzos de la inteligencia artificial en la aplicación de redes neuronales, lógica fuzzy y algoritmos genéricos (Graham, 2003). Otro esfuerzo es, por ejemplo, la aplicación de herramientas de simulación que permiten la ayuda a las decisiones a través de la creación de modelos dinámicos (Altiok y Melamed, 2007).

En un segundo caso, encontramos las aportaciones sobre el concepto de entropía, que son ligadas sobre todo a la creación de propuestas y postulados de ciencias en las cuales se apoya la gestión, por ejemplo, la economía es una de las ciencias conexas a la gestión en donde encontramos la utilización del concepto entropía, aplicado por investigadores como Georgescu-Roegen (1995) que intentan ligar este concepto con la actividad económica capitalista y la destrucción ecológica/económica. Entre todas estas aplicaciones inspiradas en la entropía, una de las más populares y utilizadas es la medida de entropía propuesta por Shannon (1948) que hace referencia a los sistemas de información (Isik, 2010), la cual ha sido aplicada en varias áreas de la ciencia y la tecnología, como la economía, la informática, la sociología, etc. (Llewellyn y Andrew, 2009). También, el concepto de entropía, interpretado como una medida termodinámica, ha sido utilizado como una media estadística en los sistemas de manufactura y en los sistemas logísticos, para medir la flexibilidad en los sistemas de producción, para medir la complejidad de un mercado, la localización de producto en la cadena de suministro, etc. (Isik, 2010).

Así, los intentos de traducir la entropía a las ciencias sociales son numerosos, desde la década de los años sesenta fueron ligados a la idea de equilibrio y posteriormente a la disipación o la degradación (Lugan, 2002). Pero aunque se describa una dinámica, existe en el espíritu de los investigadores diferentes preguntas que no tienen respuesta, sobre todo las preguntas derivadas de la evolución, la emergencia de fenómenos (en el sentido de emerger) ambas ligadas a la noción tiempo (Prigogine, 1994). Así, la evolución de los sistemas dinámicos convierte en incierto el futuro en cuanto a sus

posibles trayectorias y comportamientos. Este es el reto de las ciencias de gestión y de hecho de todas las ciencias: el comportamiento de los fenómenos en el futuro.

## **LA ENTROPÍA Y LA DINÁMICA: DOS NOCIONES A APLICAR EN LAS CIENCIAS DE GESTIÓN**

En la gestión, los principios, las herramientas y la misma práctica consideran e intentan crear un sistema estable o semiestable, controlable, normalizable (Schmitt y Bayad, 2000) fácil de describir y utilizar. Un ambiente que supone que el individuo puede actuar racionalmente, poseyendo una información y un control perfecto (Simon, 1991). Pero las organizaciones como la empresa son sistemas abiertos extremadamente dinámicos y sometidos a los efectos de la entropía. Por lo que parece pertinente la utilización de ambos conceptos para elaborar propuestas y postulados teóricos; y para su utilización en un proceso de acción/reflexión para los practicantes de gestión.

El punto de vista clásico de la dinámica en la empresa es que los fenómenos estables son la regla y los inestables las excepciones (Prigogine, 1994; Schindehuette y Morris, 2009), bajo esta concepción de la dinámica, todos los sistemas dentro de la empresa pueden y deben de ser ordenados, controlados y predictibles (Morua y Schmitt, 2012). Este punto de vista considera a la dinámica como sinónimo de acción (ya sea de las organizaciones o de los individuos) muchas veces voluntaria, planificada, que motiva al individuo a actuar (Morua, 2013) posicionando a ésta desde un punto positivista, en el cual, lo aleatorio y lo incierto no son considerados (Morin, 2005).

Esta posición clásica considera sólo parcialmente la dinámica, reduciendo sus componentes sin hacer dialogar sus partes opuestas como la degradación, la emergencia de nuevos fenómenos o las interrupciones (Morua, Marin, y Schmitt, 2014). Pero, como hemos visto el objeto de estudio de la gestión es dinámico, por lo que se debe de reconocer que las organizaciones, como la empresa, son:

- Sistemas dinámicos y abiertos, es decir, dinámicos tanto en su interior como en las interacciones con su medio ambiente.
- Sistemas sujetos a la acción de la entropía, lo que implica que entre mayor dinamismo mayores son las posibilidades de interrupciones y degradaciones.
- Sistemas que van a luchar contra la entropía mediante la obtención de información y su relación con el medio ambiente buscando importar energía (neguentropía).
- Sistemas que a través del proceso neguentrópico provocan la evolución y autoorganización del sistema, fenómenos que no existen sin la entropía.
- Organizaciones que poseen elementos heterogéneos, cada uno con propiedades dinámicas diferentes y sometidas a efectos entrópicos diferentes, y por tanto complejas.

Pero, existen dos dificultades ligadas a la importación de las ideas de la dinámica/entropía a las ciencias de gestión, la primera, señala Girin (2012), se encuentra en los individuos mismos, es decir que éstos deben de declarar y percibir los fenómenos (dinámicos, entrópicos y/o complejos) dado que éstos no existen sino en el espíritu y pensamiento de los individuos. Apoyando con esto las ideas de E. Schrödinger y de W. Heisenberg de la imposibilidad de separación objeto/ sujeto (Gribinn, 1984). Así podemos afirmar que “no existe objeto que en relación con un sujeto (que observa, aísla, define, piensa...) y que no existe sujeto que en relación con un medio ambiente objetivo (que le permite reconocerse, definirse, pensarse...e incluso existir)” (Morin, 2005, p. 56).

La segunda dificultad se encuentra ligada al tiempo, según Gribinn (1984) raros son los estudios que se interesan en la manera en cómo transcurre el tiempo. Aunque para el estudio de los sistemas dinámicos como la empresa, se requiera comprender el tiempo y la evolución, su consideración en las ciencias de gestión está prácticamente limitada. En efecto, dentro de la gestión regularmente se omite esta condición, no solamente porque no es cómoda para los investigadores (Morua, 2013), también porque las estructuras de pensamiento del ser humano suelen no estar adaptadas al movimiento sino a lo fijo, estable y estático (Schindehutte y Morris, 2009).

Además, las traducciones que se puedan hacer de las ciencias “duras” que trabajan específicamente con los sistemas altamente dinámicos, como la física, las matemáticas o la química, pueden ser utilizadas como “metáforas” a las ciencias de gestión (Girin, 2012). Aunque algunas técnicas como las logísticas (Morua, 2013), las de investigación de operaciones (Roy, 2008) o las herramientas de la dinámica de sistemas (Morua y Schmitt, 2012) ayuden a la toma de decisiones en situaciones dinámicas, éstas representan un costo a veces considerable y las condiciones de la empresa pueden cambiar tan rápido que sus aportaciones se ven limitadas a una sola comprensión de cómo el sistema funciona o debe funcionar (Bair, Crama, Henry, y Justens, 2011).

Así, la aplicación de los conceptos de dinámica y entropía por parte de los investigadores y practicantes de gestión debe de considerar (véase figura 2):

## **LA MODELIZACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPRESIÓN**

Le Moigne (2007) indica que debemos de ser capaces de no solamente de capturar, sino de inventar modelos y proposiciones bajo una forma accionable, aunque los modelos sean siempre una representación parcial (Bair, Crama, Henry, y Justens, 2011), el ejercicio de modelización nos permite comprender y razonar sobre el sistema en su contexto, su historia, sus funciones y sus objetivos, invitando con esto a las ciencias de gestión a transformarse en una ciencia de la concepción (Simon, 1991).

## **LA ADOPCIÓN DE UN PENSAMIENTO COMPLEJO**

Un trabajo de reflexión complejo es indispensable para que el conocimiento accionable sea producido, es decir, se deben considerar los principios del pensamiento complejo que incitan a reflexionar sobre: la relación del todo y sus partes (principio hologramático), los procesos recursivos que se generan en el sistema (principio recursivo) y al hacer dialogar las partes que parecen excluirse (principio dialógico), considerando que la complejidad, como dicta Morin (2005), no es un palabra solución sino uno una invitación a la estrategia.

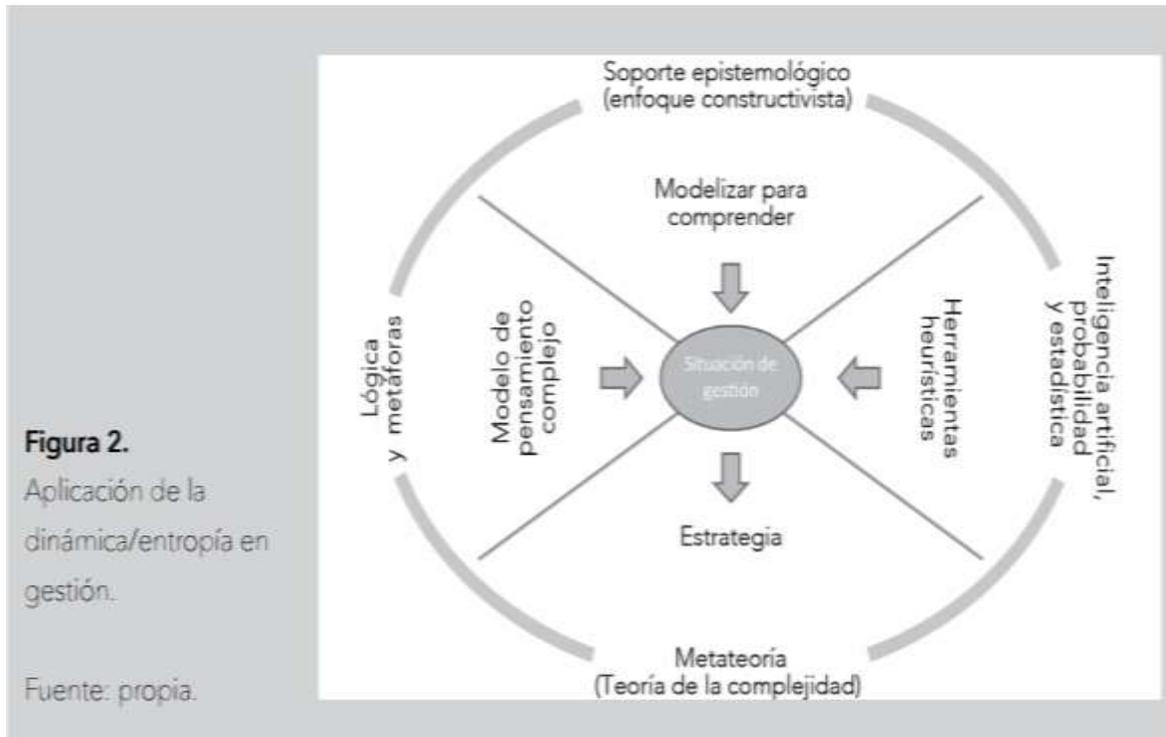
A su vez se debe considerar a el individuo y a su equipo de trabajo, como los principales actores en la búsqueda de estrategias frente a lo complejo, para lo cual deben de considerar los postulados de la dinámica que establecen: la necesidad de identificar/declarar los fenómenos dinámicos (postulado de percepción y declaración) que estos fenómenos son modificados por la entropía (postulado de las interrupciones) y que hacen emerger nuevas formas de organización (postulado de la emergencia) (Morua y Schmitt, 2012).

## **LA UTILIZACIÓN HERRAMIENTAS HEURÍSTICAS**

Bajo estas ideas, la gestión requiere de una multiplicidad de opiniones guiadas por herramientas heurísticas, las cuales están destinadas a ilustrar al lector, a suscitar su reflexión, estimular su imaginación y su acción creativa (Avenier, 2007), que permitan la creación de nuevas ideas, acciones y anticipaciones que permitan pilotear a la organización.

## LA ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS

Los sistemas dinámicos como la empresa no son controlables, pero si se pueden pilotear, esto nos incita a la estrategia (Morin, 2005), la cual no es solamente exclusiva a la elaboración de planes, sino a la anticipación posible de fenómenos dinámicos/entrópicos. Es decir, una estrategia que permita planear y al mismo tiempo ser modificada en el camino, en un diálogo entre reflexión y acción (Avenier, 2005) bajo un enfoque constructivista.



Estas acciones deben de ser soportadas por:

- Herramientas estadísticas/probabilistas elaboradas a través de sistemas de inteligencia artificial, que no necesariamente deben de ser complicados en su elaboración.
- La adopción de paradigmas epistemológicos sólidos, que permitan construir preguntas y respuestas sobre la organización, su contexto, su historia, sus objetivos, sus funciones.
- La utilización de la lógica y de las metáforas exportadas de ejemplos de otras ciencias.
- El uso de metateorías explicativas de las cuales las metáforas, la lógica, las herramientas y los paradigmas se apoyen.

## CONCLUSIÓN

La entropía en un principio fue utilizado como un concepto de equilibrio, el cual fue ampliamente criticado en un plano teórico, metodológico e ideológico en las ciencias sociales. En particular porque parecía estar inadecuado dado que buscar una medida continua del estado del sistema. Este punto de vista es más bien adaptado al estudio de los sistemas aislados (Lugan, 2002) y no a la empresa. Con las aportaciones de la teoría de la complejidad podemos ampliar y renovar dicho concepto en las ciencias de gestión, así la entropía en gestión debe de ser considerada como un aumento de la homogeneidad en detrimento de una heterogeneidad inicial, de una medida que desordena el sistema, que lo fuerza a evolucionar y a autoorganizarse.

De su lado el concepto de dinámica, como lo vimos, no se trata solamente de determinismo y causalidad, se refiere también a la consideración de la entropía en todos sus sentidos y formas. Por lo que parece imperativo el diseño y la utilización de herramientas adaptadas a lo dinámico y la adopción de practicantes y de investigadores de una forma de pensamiento que permita guiar las acciones que con temple la relación entropía/dinámica.

Con base en lo anteriormente expuesto, podemos decir que en las ciencias de gestión:

- Parece necesario que la idea de una dinámica causal y determinista debe de ser abandonada y sólo utilizada en casos muy específicos.
- La utilización de principios, postulados y herramientas que consideren una dinámica estable o semiestable deben de ser casos limitados en la gestión y referidos a subsistemas que posean interacciones limitadas.
- La idea de una causa-efecto debe ser sustituida por las relaciones de recursividad, en donde el sistema creado pueda ser al mismo tiempo producido por su creación (Morin, 2005).
- Debemos considerar que la degradación, las interrupciones y la difusión, fenómenos propios de la entropía, permiten la evolución y la autoorganización del sistema, adoptando un pensamiento dinámico y complejo (Morua, 2013).

## FUTURAS INVESTIGACIONES

El mundo actual parece acelerar su dinámica y su evolución, las empresas parecen seguir este dinamismo. Esta comunicación está orientada a un aspecto teórico, el modelo presentado de aplicación de paradigmas dinámicos/entrópicos actualmente se encuentra en aplicación, los resultados deben de ser obtenidos en un mediano plazo. Por lo que las futuras investigaciones van desde la aplicación de sistemas de inteligencia artificial, ideas epistemológicas sobre la dinámica y la entropía, hasta la importación de metateorías a la empresa como la teoría de la complejidad. Este esfuerzo no es nuevo ni aislado, pero con las herramientas actuales y con las bases teórico-epistemológicas parece posible.

## REFERENCIAS

Allen, P. y Boulton, J. (2011). Complexity and limits to knowledge: the importance of uncertainty. En P. Allen, S. Maguire y B. McKelvey, *The SAGE handbook of complexity and management* (pp. 164- 189). Londres: Sage.

Altiok, T. y Melamed, B. (2007). *Modeling and analysis with ARENA*. Elsevier.

Argyris, C. (1995). *Savoir pour agir*. París: Ineréditions.

Avenier, M.-J. (2004). L'élaboration de savoirs actionnables en PME légitimés dans une conception des sciences de gestion comme des sciences de l'artificiel. *Revue international PME*, vol. 17, núm. 3-4 pp. 13-42.

Avenier, M.-J. (2005). La stratégie chemin faisant. *Cahiers de sol*, núm 4 febrero, pp. 14-26.

Avenier, M.-J. (2007). Repères pour la transformation d'exepérience. En *science avec conscience*. Dans M. -J. Avenier y C. Schmitt, *La construction de savoirs pour l'action*, (p. 139 y 169) L'Harmattan.

Bair, J., Crama, Y., Henry, V., y Justens, D. (2011). *Modèles mathématiques en gestion*. Dijon: Cassini/Pole.

David, A. (2007). Scientificité et actionnabilité des connaissances. En *sciences de gestion: reversons la perspective*. Dans M.-J. Avenier, y C. Schmitt, *La construction de savoirs pour l'action* (pp. 109-137). París: L'Harmattan.

Donnadieu, G., y Karsky, M. (2002). *La systématique, penser et agir dans la complexité*. París, Éditions Liaisons.

Fortin, R. (2000). *Comprendre la complexité*. París: L'Harmattan.

Genelot, D. (2001). *Manager dans la complexité*. París: INSEP.

Georgescu-Roegen, N. (1995). *La décroissance*. Entropie-Ecologie-Economie. París: Editions sang de la terre.

Girin, J. (2012). *Management et complexité: comment importer*. En *gestion un concept polysémique ?*

Dans A. David, A. Hatchuel, y R. Laufer, *Les nouvelles fondations des sciences de gestion*, pp. 159-176. París: Presses de Mines.

Graham, I. (2003). *Science at the edge: Artificial intelligence*. Chicago: Reed educational.

Gribinn, J. (1984). *Le chat de schrödinger*. París: Flammarion. Isik, F. (2010). An entropy-based approach for measuring complexity in supply chains. *International journal of production research*, vol. 48, núm. 12, 15 junio, pp. 3681- 3696.

Lapierre, J.-W. (1992). *L'analyse de systèmes, l'application aux sciences sociales*. París: Syros.

Le Moigne, J.-L. (1994). *La théorie du système général: théorie de la modelisation*. París: Presses universitaires de France.

Le Moigne, J.-L. (1999). *La modélisation des systèmes complexes*. París: Dunod.

Le Moigne, J.-L. (2007). Les sciences d'ingenium, enjeux epostémologiques. Dans J.-L. Le Moigne, y E. Morin, *Intelligence de la complexité. Epistémologie et pragmatique* pp. 339-363. París: Editions de l'aube.

Lizarralde, I., Larrasquet, J. y Coutts, N. (2011). Design and innovation in the face of complexity (Towards new challenges of thinking systems and learning), *Projectics/ Proyética/Projectique* 2011/2, núm. 8, pp. 199-211.

- Llewellyn, C. M. y Andrew, Y. T. (2009). An entropy-based financial decision support systems (e-FDSS) for project analysis in constructions SMEs. *Constructions Management and Economics*, núm. 27 pp. 499-513.
- Lugan, J.-C. (2002). De l'équilibre à la néguentropie dans les sciences sociales. Dans N. Fabbe-Costes, y P. Lièvre, *Ordres et désordres en logistique*, pp. 103-140. París: Lavoisier.
- Martinet, A.-C. (1990). Grandes questions epistemologiques et sciences de gestion. Dans A. Martinet, *Epistémologies et sciences de geston*, pp. 9-30. París: Economica.
- Morin, E. (1999). *La méthode 1: la nature de la nature*. París: Seuil.
- Morin, E. (2005). *Introduction à la pensée complexe*. París: Éditions du seuil.
- Morin, E. (2007). Complexité restreinte, complexité générale. Dans J.-L. Le Moigne, y E. Morin, *Intelligence de la complexité : épistémologie et pragmatique* (pp. 28-50). París: Editions de l'aube.
- Morua, J. (2013). *Pour une conception stratégique de la valeur des produits et services, une approche dynamique en PME*. Nancy: Thèse en sciences de la gestion, Université de lorraine.
- Morua, J. y Schmitt, C. (2012). *Principios de la dinamica y su aplicacion en gestion*. X congreso latinoamericano de dinamica de sistemas. Buenos Aires, Argentina.
- Morua, J., Marin, A. y Schmitt, C. (2014). *Dynamics of entrepreneurial process from a local prespective*. Wold confre - rence on entrepreneurship, junio 11-14. Dublín, Irlanda.
- Prigogine , I. y Stengers , I. (1986). *La nouvelle alliance*. París: Folio.
- Prigogine, I. (1994). *Les lois du chaos*. París: Flammarion.
- Roddien, F. (2010). *La thermodynamique de l'évolution du bing bang aux sociétés humaines*, octobre. IAP. París.
- Rojot, J. (2005). *Théorie des organisations*, París, Eska.
- Roy, B. (2008). L'aide à la décision aujourd'hui: que devrait-on en attendre? Dans A. David, A. Hatchuel y R. Laufer, *Les nouvelles fondations des sciences de gestion*, pp. 141-174. París: Vuibert.
- Schindehutte, M. y Morris, M. (2009). Advancing strategic entrepreneurship research: the role of complexity science in shifting the paradigme. *Entrepreneurship theory and pratique*, enero 2009, pp. 241-276.
- Schmitt, C. y Bayad, M. (2000). *La dynamique de la valeur: proposition d'une approche conceptuelle*. Congrès de l'AFC, Angers, 18-20 mai. Angers.
- Simon, H.-A. (1991). *Sciences de l'artificiel*. París: Dunod. Varela, F. (1996). *Invitation aux sciences cognitives*. París: Editions du Seuil.
- von Bertalanffy, L. (1993). *Théorie générale des systèmes*. París: Dunod.