



Artículo

La organización empresarial como sistema adaptativo complejo[☆]Luz Esperanza Bohórquez Arévalo^{*}

Profesor, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 13 de junio de 2011

Aceptado el 30 de mayo de 2013

Códigos JEL:

M10

Palabras clave:

Auto-organización

Emergencia

Evolución

Sistemas adaptativos complejos

No linealidad

JEL classification:

M10

Keywords:

Self-organization

Emergence

Evolution

Complexity adaptative systems

Non-linearity

Classificações JEL:

M10

Palavras-chave:

Auto-organização

Emergência

Evolução

Sistemas adaptativos complexos

Não linearidade

RESUMEN

El presente documento busca identificar las características de los sistemas adaptativos complejos (CAS, por su sigla en inglés *Complexity Adaptive Systems*), así como capturar las implicaciones de su aplicación en el estudio de las organizaciones. Para tal fin, se revisan resultados de investigación publicados en revistas académicas que han facilitado la introducción de las ciencias de la complejidad en la administración, al igual que se exploran los resultados de investigación de grupos e institutos que trabajan en el tema. A partir de los estudios comparativos de las propuestas observadas se plantea que los CAS pueden comprenderse desde la emergencia, la auto-organización y la evolución. La comprensión de la organización desde esta perspectiva genera líneas de investigación en liderazgo, estrategia, toma de decisiones y construcción de actuación conjunta; todo lo anterior en sistemas complejos.

© 2011 Universidad ICESI. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Business organization as a complexity adaptative system

ABSTRACT

The purpose of this document is to identify complexity adaptative systems (CAS) characteristics, as well as determining the implications of applying this to the study of organizations. A review was made of the results of investigations published in journals on the introduction of scientific complexity into the administration, as well as the results of research groups and institutes working on this topic. Based on comparative studies of the proposals observed, it is suggested that CASS may be understood from the emergence, self-organization, and evolution of a company. Understanding the organization from this outlook leads to lines of research on leadership, strategy, making decision-making, construction of joint actions, all in complex systems.

© 2011 Universidad ICESI. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

A organização empresarial como sistema adaptativo complexo

RESUMO

O presente documento procura identificar as características dos sistemas adaptativos complexos (CAS, em inglês *Complexity Adaptive Systems*), assim como captar as implicações da sua aplicação no estudo das organizações. Para tal, reveem-se os resultados de investigação publicados em revistas académicas que facilitaram a introdução das ciências da complexidade na administração, tal como se exploram os resultados investigação de grupos e institutos que trabalham no tema. A partir dos estudos comparativos das propostas observadas supõe-se que os CAS podem abranger a emergência, a auto-organização e a evolução. A compreensão da organização a partir desta perspectiva cria linhas de investigação em liderança, estratégia, tomada de decisões e construção de acção conjunta; tudo o mencionado anteriormente em sistemas complexos.

© 2011 Universidad ICESI. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos os direitos reservados.

[☆] La autora del artículo desea expresar su agradecimiento a los pares evaluadores del documento, quienes con sus observaciones permitieron incrementar la riqueza del mismo.

^{*} Calle 23 n.º 75-50, Bogotá, Colombia.

Correo electrónico: lebohorquez@hotmail.com

1. Introducción

Las organizaciones son sistemas no lineales alejados del equilibrio. Son altamente sensibles a las innovaciones, a los eventos o al azar propios del ambiente empresarial, y sus patrones de comportamiento emergen sin intencionalidad. De hecho, los comportamientos empresariales no corresponden a la intensión de los individuos que los generan, lo que produce inesperados y contados resultados intuitivos (Holland, 1995). Lo anterior pone de manifiesto la imposibilidad de predecir y controlar el futuro en la organización y hace necesario encontrar nuevas formas que faciliten su comprensión y desarrollo.

En las 2 últimas décadas, las ciencias de la complejidad (termodinámica del no equilibrio, la teoría de catástrofes, la teoría del caos, la ciencia de redes, entre otras) ha sido uno de los campos de investigación de mayor crecimiento para el estudio de las organizaciones como sistemas no lineales (Allen, Maguire y McKelvey, 2011); sin embargo, los sistemas adaptativos complejos (CAS, del inglés *Complexity Adaptive Systems*) se han presentado como la perspectiva teórica en la que se fundamenta una amplia cantidad de propuestas (Stacey, 1995; Anderson, 1999; Mitleton, 2003).

A la fecha no existe un consenso generalizado frente a las propiedades de los CAS (Gell-Mann, 1994); sin embargo, estos sistemas sugieren interacciones adaptativas entre los agentes (Holland, 1995), que en algunas oportunidades pueden producir comportamientos sorprendentemente simples y predecibles, y en otras, comportamientos que son imposibles de pronosticar. Por lo anterior, el propósito del presente documento es identificar las características de los sistemas adaptativos complejos, así como capturar las implicaciones de su aplicación en el estudio y comprensión de las organizaciones empresariales. Lo anterior se refiere a aspectos que se fundamentan principalmente en las propuestas de Gell-Mann (1994), Holland (1992), Anderson (1999), Stacey (1995, 1996) y Mitleton (2003, 2005a, 2005b), los 2 primeros considerados como los autores que crearon la expresión *sistema adaptativo complejo*, y los siguientes como los autores que, soportados en los CAS, han realizado propuestas para la descripción de la organización.

Los CAS se encuentran relacionados con comportamientos no lineales y sistemas de *feedback* sin importar donde se presenten: sistemas sociales naturales, sistemas sociales artificiales y sistemas sociales humanos. Las investigaciones en sistemas sociales naturales han demostrado que el éxito de los sistemas vivos se encuentra relacionado con el nivel de robustez y flexibilidad que estos tienen a las condiciones cambiantes del entorno (Bedau, 2009; Bonabeau, Theraulaz, Deneubourg, Aron y Camazine, 1997; Nicolis, Theraulaz y Deneubourg, 2005), señalando que la robustez y la flexibilidad surgen de las habilidades para actuar autónomamente acorde con sus propios intereses, con la capacidad evolutiva y de adaptación (Kauffman, 1995), que son el resultado de las propiedades emergentes que provienen de interacciones no lineales entre las partes que los componen.

Lo anterior ha llevado a que en los sistemas sociales artificiales y humanos el término «tecnología viviente» se identifique como el medio para capturar las implicaciones del aumento de la habilidad en el diseño de sistemas que cuenten con estas características (Bedau, McCaskill, Packard y Rasmussen, 2010). Las organizaciones empresariales, como seres vivos, son sistemas caracterizados por ciclos de *feedback* no lineal por cuanto todo el tiempo las personas interactúan unas con otras (Stacey, 1995), y las acciones de una persona A tienen consecuencias en las acciones de B, F, Z o en todas las personas de la organización, llevando a que estas reaccionen y por lo tanto puedan generar consecuencias en A, lo que a su vez incita a una nueva respuesta de este último. Adicionalmente, si se tiene en cuenta que las decisiones de los actores dependen de sus percepciones y no impactan en la misma proporción a los miembros de la organización, se evidencia la no linealidad de las organizaciones,

en la cual el comportamiento del grupo es mayor que la suma de los resultados individuales (Watts, 2006).

Esto último ha permitido que las organizaciones empresariales puedan ser estudiadas a partir de las características, propiedades o principios de los CAS, resaltando que la investigación en esta temática se encuentra en etapas tempranas y, por lo tanto, existe una pluralidad de perspectivas teóricas de aplicación de los sistemas adaptativos complejos en el contexto organizacional (Espinosa y Porter, 2011), las cuales no se pretenden abordar en su totalidad en el presente documento; sin embargo, se examinarán las propuestas de mayor aplicación.

En la primera parte del documento se exploran los aspectos que según Gell-Mann (1994) y Holland (1992) definen a un sistema adaptativo complejo. En la segunda parte se presentan las propuestas de Anderson (1999), Stacey (1995, 1996) y Mitleton (2003, 2005a, 2005b) respecto a las características de la organización como CAS, buscando identificar los elementos explicativos de su dinámica. Finalmente, se plantean espacios de investigación que surgen al visualizar a las organizaciones desde esta perspectiva de estudio.

2. Metodología

Las teorías de la auto-organización han sido aplicadas recientemente por diferentes investigadores para comprender el surgimiento de patrones de comportamiento global a partir de la interacción entre los agentes que componen un sistema social natural, artificial o humano, destacando que los sistemas adaptativos complejos han sido la perspectiva teórica sobre la que se han soportado en mayor medida los estudios de la organización, por lo cual se hace necesaria la identificación de las características de los CAS, así como capturar las implicaciones de su aplicación en el estudio de las organizaciones empresariales.

Para tal fin, el presente documento considera la revisión de resultados de investigación en la temática publicados en revistas académicas como *Organization Science*, *The Learning Organization*, *Human Systems Management*, *Journal of Management Inquiry*, *Emergence: Complexity & Organization* y *Strategic Management Journal*, entre otros, destacando que dichas publicaciones han desempeñado un importante rol en la introducción de las ciencias de la complejidad en la administración de las organizaciones. De igual manera, se consideraron los resultados publicados por institutos y grupos de investigación en complejidad como el Instituto Santa Fe, en el cual se generó la expresión *sistemas adaptativos complejos*, así como el Grupo de Investigación en Complejidad del *London School of Economics* (LSE), uno de los de mayor citación en la revista *Emergence: Complexity & Organization*, después de las obras de Stuart Kauffman y John Holland (investigadores del Instituto Santa Fe).

A partir de la revisión de las diferentes fuentes, la autora realiza estudios comparativos de las propuestas observadas, buscando identificar categorías que permitan describir los CAS. Las categorías permiten plantear elementos de reflexión que amplían la comprensión de la organización desde esta nueva perspectiva, al igual que facilitan visualizar tendencias investigativas en el campo.

3. Los sistemas adaptativos complejos

Los sistemas adaptativos complejos son la expresión con la que el Instituto Santa Fe —y especialmente autores como Gell-Mann (1994) y Holland (1992)— buscan clasificar los sistemas en los que el comportamiento global depende más de las interacciones entre las partes que de las acciones. La expresión *sistema adaptativo complejo* tiene un amplio soporte en la biología, en donde la adaptación no solo implica acomodación sino también evolución.

Tabla 1

Afinidad en las características de los CAS a partir de las propuestas de Gell-Mann y Holland

Características de los CAS según Gell-Mann (1994, 1995)	Características de los CAS según Holland (1995)
La experiencia en los CAS puede ser considerada como conjuntos de entradas y salidas. Las entradas comprenden el comportamiento del sistema y las salidas los efectos sobre este	<i>Bloques de construcción.</i> Mecanismo para la construcción de modelos internos
A partir de las experiencias el sistema identifica regularidades. Sin embargo en algunas oportunidades se pueden pasar eventos por alto o el sistema puede confundir rasgos aleatorios con regularidades	<i>Marbetes.</i> Mecanismo que facilita la interacción selectiva permitiendo la construcción de agregados
Las experiencias del sistema no son almacenadas como eventos aislados, sino que son comprimidas dentro de esquemas, los cuales, a través de procesos de mutación, facilitan el surgimiento de nuevos esquemas rivales	<i>Modelos internos.</i> Mecanismo para el surgimiento de patrones de comportamiento. <i>Diversidad.</i> Propiedad que explica el surgimiento de novedades a partir de la interacción entre los agentes
Los procesos de <i>feedback</i> que se presentan entre los esquemas cambian sus formas de operación y afectan el mundo real	<i>Agregaciones.</i> Propiedad que explica la recombinación de categorías similares <i>Flujos.</i> Propiedad que explica la interacción entre los nodos de la red <i>No linealidad.</i> Propiedad en la cual el comportamiento del todo es mayor a la suma de las partes

Fuente: elaboración propia con base en Gell-Mann (1994, 1995) y Holland (1995).

Algunos ejemplos de estos sistemas son la economía, Internet, los ecosistemas, los virus de computador, entre otros.

Los CAS se encuentran compuestos por agentes en interacción descritos en términos de reglas que cambian (se adaptan) en la medida en que el sistema acumula experiencia. La coherencia y la persistencia de estos sistemas dependen de las múltiples interacciones entre las partes, de la agregación de los diversos elementos, así como de la capacidad de adaptación o aprendizaje (Holland, 1995).

A la fecha existen diferentes planteamientos respecto a las características de los CAS. Gell-Mann (1994) argumenta que los diversos puntos de vista responden en parte a variaciones en el vocabulario acorde con el contexto de aplicación. Por su parte, Holland (1995) afirma que el proceso de selección de las características es, hasta cierto punto, cuestión de gusto. Es decir, si bien existen variaciones también es posible encontrar un amplio nivel de afinidad entre ellas.

En este sentido, a pesar de que Gell-Mann (1994, 1995) plantea 4 características generales de los CAS y Holland (1995) propone 4 propiedades y 3 mecanismos comunes a todos los sistemas adaptativos complejos, existen fuertes similitudes entre sí (tabla 1). Gell-Mann hace alusión a la formación de esquemas, en tanto que Holland se refiere a modelos internos que a través de procesos de *feedback* (flujos) se modifican incrementando la diversidad en el sistema. La principal diferencia en la propuesta de estos autores se encuentra en el nivel de detalle de la propuesta de Holland, lo que facilita una mayor comprensión de los CAS.

4. La organización empresarial como sistema adaptativo complejo

A la fecha existe una pluralidad de perspectivas teóricas de aplicación de los sistemas adaptativos complejos en el contexto organizacional (Espinosa y Porter, 2011), dentro de las que se destacan autores como Anderson (1999), Stacey (1995) y Mitleton (2003), señalando que las propuestas mencionadas se orientan a describir el comportamiento de las organizaciones como CAS y se encuentran soportadas en los trabajos de autores como Nicolis y Lefever (1975), Prigogine (1983), Kauffman (1995), Gell-Mann (1994, 1995) y Holland (1992, 1995).

La propuesta planteada por Stacey (1995) propone el estudio de las empresas considerando 2 propiedades fundamentales de los CAS: a) inestabilidad limitada en la que se plantea la coexistencia de estabilidad e inestabilidad como condiciones de la dinámica organizacional, y b) la auto-organización espontánea que emerge de las interacciones que se presentan entre los componentes del sistema.

Anderson (1999), por su parte, manifiesta que los CAS tienen 4 características fundamentales que generan importantes implicaciones en la teoría organizacional: a) los agentes que conforman el sistema siguen diferentes esquemas o estructuras de conocimiento que determinan la acción que toma el agente en un periodo de tiempo; b) los agentes están conectados uno a otro a través de bucles (*loops*) de *feedback* en donde ningún componente individual dicta el comportamiento colectivo del sistema, sino que este emerge de las interacciones entre los agentes, es decir, el sistema se auto-organiza; c) los agentes coevolucionan uno a otro, cada agente se adapta a su ambiente esforzándose por ajustarse o adaptarse a una función en el tiempo, donde el ajuste individual depende de la escogencia que otros agentes han hecho, y en este sentido el paisaje adaptativo de cada agente está en constante cambio, y d) nuevos agentes pueden formarse por recombinación de elementos previamente exitosos y, por lo tanto, las relaciones entre los agentes pueden evolucionar con el tiempo, cambiando el patrón de interconexiones, la fuerza de cada conexión y la forma de la señal o función.

Mitleton (2003) plantea que las organizaciones pueden ser analizadas a partir de principios como: a) emergencia del orden a partir de procesos de auto-organización; b) interrelación, interacción e interconectividad de los elementos del sistema y entre este con el ambiente, c) coevolución de los sistemas, la cual se presenta en la medida en que un elemento influye y a la vez es influenciado por los demás; d) exploración del espacio de posibilidades y generación de variedad como condición para la supervivencia, y e) intercambio de información con el entorno, lo cual mantiene a las organizaciones como sistemas alejados del equilibrio al crear nuevas estructuras y orden.

A partir de las características, propiedades y principios que estos autores asignan a los CAS se puede observar que, pese a que no hay un consenso generalizado (Gell-Mann, 1994), sí existe afinidad entre los diferentes planteamientos. De hecho, las propuestas realizadas por Anderson (1999), Stacey (1995) y Mitleton (2003) son totalmente afines con las características definidas por Holland (1992) para los sistemas adaptativos complejos (tabla 2). Se destaca adicionalmente que las diferentes características asignadas a los CAS pueden ser agrupadas en 3 categorías: emergencia, auto-organización y evolución (tabla 2), las cuales también han sido abordadas en los estudios de sistemas sociales artificiales como medios para alcanzar comportamientos colaborativos entre los agentes (Nitschke, 2005).

De esta manera, los planteamientos de Anderson (1999), Stacey (1995) y Mitleton (2003) concuerdan de manera explícita en que las organizaciones empresariales como CAS se caracterizan por la auto-organización y el surgimiento de nuevo orden, para lo que es necesario el intercambio de información con el entorno, lo que las

Tabla 2

Relación entre las características, propiedades y principios de los CAS como elemento de estudio de las organizaciones

Stacey (1995)	Anderson (1999)	Mitleton (2003)	Holland (1992)	
Auto-organización y emergencia de orden	El sistema se auto-organiza a partir de las interacciones emergentes entre los agentes Los agentes que conforman el sistema siguen diferentes esquemas o estructuras de conocimiento que determinan la acción que toma el agente en un periodo de tiempo	Emergencia del orden a partir de procesos de auto-organización Intercambio de información con el entorno, lo cual mantiene a las organizaciones como sistemas alejados del equilibrio al crear nuevas estructuras y orden Exploración del espacio de posibilidades y generación de variedad como condición para la supervivencia Coevolución de los sistemas, la cual se presenta en la medida en que un elemento influye y a la vez es influenciado por los demás	Modelos internos Flujos Marbetes Diversidad	Auto-organización y emergencia
No linealidad	Los agentes coevolucionan uno a otro, cada agente se adapta a su ambiente esforzándose por ajustarse o adaptarse a una función en el tiempo, el ajuste individual depende de la escogencia que otros agentes han hecho Nuevos agentes pueden formarse por recombinación de elementos previamente exitosos	Interrelación, interacción e interconectividad de los elementos del sistema y entre este con el ambiente	No linealidad Agregación Bloques de construcción	Evolución y Coevolución

Fuente: elaboración propia.

constituye en estructuras disipativas alejadas del equilibrio (Nicolis y Prigogine, 2007), que las lleva a permanecer en procesos de exploración y explotación del espacio de posibilidades generando nuevas variedades (Kauffman, 1995).

De igual manera, Anderson (1999) y Mitleton (2003) concuerdan en que las organizaciones desarrollan procesos de evolución y coevolución (tabla 2) que surgen de la interrelación, interacción e interconectividad de los elementos del sistema, buscando ajustarse y adaptarse al ambiente a través de las acciones de los actores, que dependen de las percepciones y no impactan en la misma proporción a los miembros de la organización; lo anterior evidencia la no linealidad propuesta por Stacey (1995). Adicionalmente, Anderson (1999) plantea como característica de los CAS la recombinación, que, según lo planteado por Kauffman (2003), es una estrategia de búsqueda evolutiva.

La evolución implica toda clase de sistemas, fenómenos y comportamientos que son susceptibles de cambio, transformación y, en general, de desarrollo (Maldonado, 2009b), y en este sentido se manifiesta que las organizaciones tienen la capacidad de modificarse a sí mismas, modificar el ambiente en el que se encuentran y adaptarse a las modificaciones del ambiente (Gould, 2010; Weick, Sutcliffe y Obstfeld, 2005). La emergencia y la auto-organización, por su parte, son 2 conceptos que se explican recíproca y necesariamente (Luigi, 2010) y se enfocan en la creación del nuevo orden en la organización.

4.1. Auto-organización y emergencia

La emergencia es el surgimiento permanente de novedades por las interacciones entre los agentes, que hacen imposible la predicción de estados futuros (Holland, 1998). Los procesos emergentes se caracterizan por la creación de propiedades novedosas (Stace y Goldstein, 2006) que no estaban presentes en las condiciones iniciales de la estructura organizada (Luigi, 2010). Surgen de la interacción entre los componentes del sistema, e incluso, cuando se trata de elementos relativamente sencillos, pueden generar comportamientos desconcertantes, y en este sentido la emergencia es un proceso de consecuencia y existencia, donde la existencia de un evento es consecuencia de la existencia de otro (Vesterby, 2008). De esta manera, es una de las formas en las que se puede considerar

la incertidumbre y se encuentra relacionada con el análisis de predictibilidad del comportamiento de los sistemas a partir del estudio de sus componentes (Solé y Goodwin, 2000), teniendo claro que si bien el todo está formado por partes, este es más que su simple suma.

En los CAS, los agentes actúan con información local derivada de otros agentes. Ningún componente individual dicta el comportamiento colectivo del sistema (Hayek, 1973; Holland, 1992), es decir, el sistema se auto-organiza. La auto-organización se entiende como la emergencia del nuevo orden a partir de las interacciones entre los agentes (Kauffman, 1995) o como un conjunto de mecanismos dinámicos en el que las estructuras de nivel global aparecen de un sistema de interacciones entre los componentes de diferentes niveles (Bonabeau et al., 1997). Las reglas de interacción entre las unidades constitutivas del sistema se ejecutan con base en información puramente local, sin la referencia de patrones globales, los cuales son una propiedad emergente del sistema, en lugar de una propiedad impuesta al sistema (Hayek, 1976; Holland y Melhuish, 1999).

La auto-organización solo ocurre en sistemas abiertos que importan energía (Nicolis y Prigogine, 2007) o información (Boisot y Child, 1999) del entorno y logran alcanzar estados de inestabilidad limitada (Anderson, 1999; Stacey, 1995; Kauffman, 1995; Gell-Mann, 1994). Los sistemas alejados del equilibrio crean estructuras disipativas a partir del intercambio de información con el entorno, lo que genera el rompimiento o la transformación de los patrones actuales y permite la emergencia de nuevos modelos que conducen a la auto-organización del sistema (Prigogine, 1983; Nicolis y Lefever, 1975). De esta manera, a medida que un sistema se aleja del equilibrio pasa por transiciones súbitas (o bifurcaciones), las cuales se aumentan cuanto más se aleja del equilibrio.

La emergencia y la auto-organización son características inherentes de los seres vivos, y por ende de las organizaciones empresariales, dado que están conformadas por agentes y conjuntos de agentes autónomos que interactúan permanentemente modificando el comportamiento del todo. En estos sistemas, el comportamiento de cada agente es dictaminado por esquemas (Gell-Mann, 1994) o modelos internos (Holland, 1992) que determinan la acción a seguir en un momento determinado. Según Gell-Mann (1994), Holland (1992) y otros investigadores del

Instituto Santa Fe, los modelos internos se encuentran a su vez conformados por reglas que pueden evolucionar o no con el tiempo, resaltando que estas no necesariamente determinan el comportamiento de un individuo, tal como se ha evidenciado a través de la aplicación las teorías institucionalistas (Willmott, 2011) y del establecimiento de códigos en las organizaciones (Helin, Jensen, Sandström y Clegg, 2011). Los agentes toman sus acciones a partir de la construcción de significados que se comparten mediante los procesos de interacción que se dan en el sistema (Weick et al., 2005). En este sentido, los estudios de la organización como sistema vivo han mostrado que las reglas frecuentemente no gobiernan las acciones; las reglas pueden cambiar sin consecuencias en el comportamiento, y el comportamiento puede cambiar sin modificaciones en los sistemas de reglas (Anderson, 1999). Así, aun cuando se tenga el detalle suficiente de las condiciones iniciales y las reglas del sistema, las novedades son permanentes y, por ende, los comportamientos predecibles se dificultan (Holland, 1998). En otras palabras, el hecho que se conozcan las reglas que rigen el comportamiento de los individuos no siempre ayuda a predecir el comportamiento de la población (Watts, 2006).

Adicionalmente, las organizaciones operan entre el orden y el caos, manteniéndose en inestabilidad limitada. Así, cuando una organización se aleja del equilibrio —es decir, se aleja de reglas y patrones preestablecidos—, nuevas vías de trabajo son creadas y nuevas formas de organización pueden emerger, facilitando el surgimiento de innovaciones (Mitleton, 2003; Kauffman, 1995). En este sentido, se dice que la organización opera mediante ciclos de *feedback* positivos, y por lo tanto permanece en constante inestabilidad (Richardson, 2008; McKelvey, 2004). Por otro lado, cuando los agentes que actúan en el sistema aceptan conformar un conjunto de reglas y tomar sus decisiones en concordancia con ellas, se alcanzan comportamientos regulares que conducen a la estabilidad de la organización (Perrow, 1986), es decir, esta opera a través de ciclos de *feedback* negativos.

La coexistencia de orden y caos promueve la tensión organizativa y la contradicción interminable, que a su vez son fuente de conflicto. Las tensiones incentivan la creatividad y facilitan el logro de resultados exitosos (Aritzeta, Ayestaran y Swailes, 2005). En otras palabras, en los procesos auto-organizados coexisten ambos estados: estables e inestables o predecibles e impredecibles, respectivamente (Richardson, 2008; Holland, 1995; Kauffman, 1995; Mitleton, 2005a; Wulun, 2007). De ahí que el éxito sostenido emerge de la inestabilidad limitada y de la capacidad de surgimiento del nuevo orden (Lu y Mahfouf, 2010).

Es de resaltar que la emergencia del nuevo orden requiere que el número de conexiones entre los componentes del sistema se encuentre entre un límite superior y uno inferior (Kauffman, 2003). Estudios soportados en redes booleanas han encontrado que estas desarrollan procesos de auto-organización cuando la conexión entre los agentes no es muy alta ni muy escasa. Un alto nivel de conectividad conduce a los agentes a exhibir comportamientos de profunda inestabilidad, lo que puede generar la desaparición del sistema; sin embargo, resultados similares se presentan cuando la conectividad es escasa debido a la estabilidad que se produce (Kauffman, 1995).

De igual manera, el grado de interacción entre los agentes puede impactar el desarrollo de los procesos de auto-organización. En este sentido, Granovetter (1973) plantea que las relaciones fuertes entre los miembros de la organización, que surgen de la combinación del tiempo, de la intensidad emocional, de la confidencialidad y de la reciprocidad en los servicios, generan comportamientos predecibles, uniformes y estables, a diferencia de los lazos débiles, que proporcionan variedad en la organización. Es de resaltar que las investigaciones en autómatas celulares y en redes booleanas han indicado que la clave de los procesos de auto-organización se encuentra en el número aleatorio de interrelaciones entre los

agentes del sistema, más que en si estas son fuertes o débiles (Stacey, 1995).

Desde la perspectiva de los elementos que facilitan la interacción entre los agentes, Holland (1995) plantea que los flujos de conocimiento desempeñan un papel relevante. La generación de conocimiento e ideas innovadoras cuando un equipo está trabajando junto puede describirse como una propiedad emergente en el sentido que surge de la interacción de los individuos y no es solo la suma de ideas existentes; adicionalmente, ese conocimiento podría generar algo nuevo y sorprendente (Espinosa y Porter, 2011). Una vez las ideas se articulan, entran a formar parte de la historia de los individuos y del equipo, por lo cual el proceso ya no es reversible (García, Mitleton y Galliers, 2003). Desde esta perspectiva, la organización es vista como el espacio en donde los agentes internos y externos intercambian conocimiento en un diálogo continuo con otros agentes que se encuentran en la red o en el sistema (Laihonen, 2006).

En este sentido se encuentran los resultados del trabajo realizado por Alaa (2009), en el cual se identifican algunos mecanismos o estrategias que facilitan la emergencia organizacional, y dentro de los cuales se encuentran la comunicación, el diálogo permanente, la conectividad, la interrelación, el aprendizaje y los procesos de *feedback*, entre otros. A partir de estos mecanismos, Alaa (2009) propone 3 factores que estimulan la emergencia en el contexto de la dirección organizacional:

- *Factores dinámicos*: comprenden las propiedades emergentes. La gestión de la complejidad requiere interrelaciones e interconexiones de los elementos del sistema social con el ambiente.
- *Factores habilitadores de infraestructura*: son el soporte necesario para el surgimiento de la emergencia. Incluyen elementos tangibles e intangibles que permiten o inhiben la eficacia de la dinámica, tales como los estilos de liderazgo, jerarquía y estructura, *feedback* y procesos de aprendizaje, entre otros.
- *Factores de control*: hacen referencia a los elementos tangibles e intangibles que intentan asegurar el equilibrio de la dinámica y prevenir el descenso al caos (Lewin, 1992), tales como ciclos de *feedback* circular, establecimiento de reglas simples, modelos de equilibrio, entre otros. Es decir, los factores de control mantienen a la organización en inestabilidad limitada.

De lo anterior se aclara que la conectividad entre los agentes garantiza que la información circule con rapidez, lo que permite mantener la organización al borde del caos y en inestabilidad limitada, al igual que facilita la emergencia de nuevos comportamientos a partir de las conductas individuales de los miembros de la organización. Es decir, la conducta de una organización no puede diseñarse ni controlarse; el cambio y la conducta emergen (Stacey, 1996).

4.2. Evolución y coevolución

La evolución es el proceso de cambio o transformación de las especies (Darwin, 2010; Gould, 2010), y puede ser caracterizada en términos de comportamientos macroscópicos que emergen de las interacciones que se presentan a nivel microscópico (Bedau y Packard, 1992). Implícitamente, el diseño y la continua evolución en el tiempo surgen dada la flexibilidad adaptativa a las condiciones del entorno, resaltando que la adaptación de un sistema a su ambiente emerge de los esfuerzos de adaptación de agentes individuales que intentan mejorar sus propios ajustes (Holland, 1992). Los relieves adaptativos expresan la forma en que los organismos se ganan la vida mediante aplicación de estrategias de búsqueda evolutiva: mutación y recombinación (Kauffman, 2003).

El éxito de la biología radica en el hecho que los organismos no evolucionan simplemente, sino que coevolucionan con otros y con los cambios abióticos del entorno (Kauffman, 1995; Riolo, Cohen y Axelrod, 2001; Shimada, Ishii y Shibao, 2010). La vía en la que cada elemento influye y a la vez es influido por otros elementos se conoce como coevolución (Kauffman, 1995; Benbya y McKelvey, 2006; Mitleton, 2003).

Benbya y McKelvey (2006) definen la coevolución en el sector empresarial como la mutua causalidad de cambios entre la organización, los competidores y otros elementos del nicho que pueden tener importancia adaptativa. Los agentes coevolucionan unos con otros, cada agente se adapta a su ambiente, reconociendo que el ajuste individual depende de la escogencia que otros agentes han realizado. Las organizaciones se constituyen y se mueven en paisajes adaptativos que están en constante cambio (Holland, 1995); por ende, tienen la capacidad de modificarse, modificar el ambiente en el que se encuentran y adaptarse a las modificaciones del entorno como resultado de la interacción entre los agentes (Boisot y Child, 1999).

Así, el desarrollo de procesos de *feedback* se constituye en elemento fundamental para facilitar la coevolución en la organización (Mitleton, 2005b). En esta línea, Holland, 1995 plantea que los flujos de conocimiento y ciclos de aprendizaje se constituyen en la vía por la cual los agentes interactúan promoviendo la coevolución. Es decir, el aprendizaje es un requisito previo para la evolución organizacional, entendiendo que aprender es el proceso de creación de conocimiento mediante la transformación de la experiencia (Kolbe, 1984) y no se limita a la adquisición de habilidades.

La generación de conocimiento e ideas innovadoras cuando un equipo está trabajando junto puede describirse como una propiedad emergente en el sentido que surge de la interacción de los individuos y no es solo la suma de ideas existentes (Mitleton, 2003); adicionalmente, ese conocimiento podría generar algo nuevo y sorprendente (Espinosa y Porter, 2011). Es decir, la coevolución implica redes de relaciones no lineales entre los agentes en donde las interacciones permanentemente cambiantes hacen imposible la predicción de estados futuros (Holland, 1998).

Lo anterior conduce al reconocimiento explícito de que no hay teleología en los sistemas de complejización creciente; es decir, las organizaciones avanzan, pero tal como lo hace la vida, no lo hacen en una dirección específica (Maldonado, 2009a). La tendencia de las tradicionales escuelas de la administración a tratar de predecir comportamientos futuros a partir del conocimiento de eventos históricos se debe a que en la vida diaria el pasado a menudo parece obvio, incluso cuando no podríamos haberlo predicho (Mlodinow, 2008).

Sin embargo, el reconocimiento de que las relaciones entre los componentes del sistema organizacional evolucionan con el tiempo, cambiando el patrón de interconexiones, la fuerza de cada conexión y la forma de la señal o función desempeñada (Gell-Mann, 1995), evidencia que el futuro es difícil de predecir y el pasado es fácil de comprender. En otras palabras, los procesos, dinámicas, fenómenos y comportamientos organizacionales pueden comprenderse y explicarse *ex post* y nunca *ex ante*, y ciertamente no *ex ante* a partir de planes, programas o enfoques tales como planeación estratégica, planeación prospectiva o estudios de futuros, entre otros (Maldonado, 2010).

5. Discusión e implicaciones

La organización empresarial como sistema adaptativo complejo es la antítesis de la organización tradicional. Al ser un sistema caracterizado por la emergencia, la auto-organización y la evolución, implica diseños organizacionales a partir de

nuevos paradigmas que consideren la búsqueda de inestabilidad limitada, desarrollo de operaciones en ausencia de controlador central (líder, gerente, coordinador) y de parámetros que restrinjan la acción individual (procedimientos, estándares, protocolos y demás).

La búsqueda de inestabilidad limitada significa que la organización debe evitar tanto el equilibrio como el caos. El equilibrio ha sido la principal característica de la administración desde la corriente de pensamiento principal; sin embargo, al considerar a la organización como ser vivo, la orientación hacia estados estables pierde relevancia y pertinencia. De hecho, mantener a la organización en el equilibrio conlleva coartar la creatividad, así como reducir la introducción de innovaciones al sistema; es decir, el equilibrio (también conocido como subcriticalidad) restringe la capacidad de responder a las condiciones cambiantes del entorno y, por ende, provoca la desaparición de la organización.

Por otro lado, la continua modificación de reglas y patrones de comportamiento aceleran la expansión del espacio de posibilidades del sistema sobrepasando su capacidad de absorción, lo cual conduce al caos. En total inestabilidad, los modelos que sustentan la base del desarrollo de la organización son eliminados y, por ende, la empresa puede colapsar o desaparecer (supracriticalidad).

De conformidad con lo anterior, y considerando que las organizaciones se caracterizan por la emergencia de nuevos patrones que facilitan el surgimiento permanente de innovaciones y novedades, surgen las siguientes inquietudes: ¿cómo evitar que se sobrepase la capacidad de absorción del sistema?, ¿Cuáles son los mecanismos que permiten limitar y/o incentivar la tasa de generación de innovaciones y novedades en las organizaciones empresariales? ¿Es posible definir límites en la tasa de generación de innovaciones o novedades? ¿Cuáles son los mecanismos que permiten llevar y mantener a la organización en inestabilidad limitada?

Por otro lado, y teniendo en cuenta que las organizaciones como CAS se caracterizan por la ausencia de un controlador central, surgen otras inquietudes: ¿cuál es entonces el papel del gerente? La ausencia de controlador central ¿implica que el control es distribuido entre los miembros de la organización? ¿Cómo evitar que la organización ausente de controlador central llegue al caos? La alusión a controlador central es extensible al establecimiento de procedimientos, estándares, planes, visión, escenario apuesta y, en general, a diferentes mecanismos que limiten la acción individual. Entonces ¿cómo facilitar comportamientos colectivos?

De otra parte, y considerando que en el diseño de una organización como CAS se requieren agentes con modelos internos, conexiones, comportamientos adaptativos y en general condiciones que faciliten la auto-organización, ¿cuáles son los mecanismos más efectivos que facilitan la auto-organización? Y ello teniendo en cuenta la importancia de los procesos de comunicación directa e indirecta, procesos de diálogo, flujos de información, entre otros, que promueven la interacción entre los agentes.

Finalmente, el presente documento plantea que la expresión *sistemas adaptativos complejos*, a pesar de ser caracterizados desde la emergencia, la auto-organización y la evolución, no logra capturar la esencia de dichas características. Es decir, en la expresión el término *adaptativo* es poco afortunado, dado que no necesariamente puede ser entendido desde la evolución sino que puede limitarse a la acomodación a las condiciones cambiantes. En otras palabras, en el contexto de la administración el término es restringido, y por tanto se sugiere hacer uso de la expresión *sistemas complejos*, en consonancia con *la organización como sistema complejo*.

6. Conclusiones

Las organizaciones empresariales son sistemas complejos, dado que su comportamiento se explica más en función de las

interacciones que de las acciones de los agentes. Las interacciones facilitan el surgimiento de condiciones novedosas que son absorbidas por el sistema promoviendo su evolución; es decir, el sistema no solo se acomoda a las condiciones cambiantes, sino que se transforma y modifica el entorno. Dado lo anterior, en el contexto de la administración se sugiere el uso de la expresión *sistema complejo* más que *sistema adaptativo complejo*.

Los sistemas adaptativos complejos, tales como las organizaciones empresariales, pueden ser comprendidos a partir de la emergencia, la auto-organización y la evolución; características relacionadas con comportamientos no lineales alejados del equilibrio. Por lo tanto, la búsqueda de equilibrios (estabilidad) que caracteriza a la administración desde la corriente de pensamiento principal deja de ser pertinente para el estudio de la organización, dado que reduce los niveles de creatividad e innovación, al igual que limita la capacidad de respuesta a las condiciones cambiantes del entorno.

La investigación de la organización empresarial como sistema complejo puede ser abordada desde el estudio de la criticalidad auto-organizada (subcriticalidad, supracriticalidad), por cuanto desde esta perspectiva se consideran aspectos como nivel de conectividad entre los agentes, centralización, inestabilidad limitada y generación de novedades, entre otros.

La comprensión de la organización empresarial como sistema complejo proyecta líneas de investigación alrededor de temáticas como liderazgo y complejidad, innovación en sistemas complejos, toma de decisiones en organizaciones descentralizadas, estrategia y complejidad, construcción de acción colectiva en sistemas auto-organizados, entre otras. De igual manera, se constituye en una gran oportunidad para el desarrollo de investigaciones del alto impacto en el contexto de las organizaciones, dado que dentro de las 100 mejores Facultades de Administración del mundo tan solo la de la Universidad Northwestern cuenta con el centro de investigación en complejidad social.

Conflicto de intereses

La autora declara no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Alaa, G. (2009). Derivation of factors facilitating organizational. Emergence based on complex adaptive systems and social autopoiesis theories. *Emergence: Complexity and Organization*, 11(1), 19–34.
- Allen, P., Maguire, S. y McKelvey, B. (2011). *The Sage Handbook of Complexity and Management*. London: Sage.
- Anderson, P. (1999). Complexity theory and organization science. *Organization Science*, 10(3), 216–232.
- Aritzeta, A., Ayestaran, S. y Swales, S. (2005). Team role preference and conflict management styles. *International Journal of Conflict Management*, 16(2), 157–182.
- Bedau, M. A. (2009). Living technology today and tomorrow. *Technoetic Arts: A Journal of Speculative Research*, 7(2), 199–206.
- Bedau, M. A. y Packard, N. H. (1992). Measurement of Evolutionary Activity, Teleology. In C. Langton, C. Taylor, D. Farmer, & S. Rasmussen (Eds.), *Artificial Life II - Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity (X)* (pp. 431–461). Redwood City: Addison-Wesley.
- Bedau, M. A., McCaskill, J. S., Packard, N. H. y Rasmussen, S. (2010). Living technology: Exploiting life's principles in technology. *Artificial Life*, 16(1), 89–97.
- Benbya, H. y McKelvey, B. (2006). Using coevolutionary and complexity theories to improve IS alignment: A multi-level approach. *Journal of Information Technology*, 21(4), 284–298.
- Boisot, M. y Child, J. (1999). Organizations as adaptive systems in complex environments: The case of China. *Organization Science*, 10(3), 237–252.
- Bonabeau, E., Theraulaz, G., Deneubourg, J. L., Aron, S. y Camazine, S. (1997). Self-organization in social insects. *Trends in Ecology and Evolution*, 12(5), 188–193.
- Darwin, C. (2010). *El origen de las especies*. México D.F.: EDAF (Traducción: A. Froufe).
- Espinosa, A. y Porter, T. (2011). Sustainability, complexity and learning: Insights from complex systems approaches. *Learning Organization*, 18(1), 54–72.
- García, L., Mitleton, K. E. y Galliers, R. D. (2003). Organisational complexity: Organising through the generation and sharing of knowledge. The international journal of knowledge. *Culture and Change Management*, 3, 1–22.

- Gell-Mann, M. (1994). Complex adaptive systems. In G. A. Cowan, D. Pines, & D. Meltzer (Eds.), *Complexity: Metaphors, Models and Reality* (pp. 17–45). Mexico: Addison-Wesley.
- Gell-Mann, M. (1995). *El quark y el jaguar: aventuras en lo simple y lo complejo*. Barcelona: Tusquets.
- Gould, S. J. (2010). *La estructura de la teoría de la evolución* (3.ª ed.). Barcelona: Metatemas.
- Granovetter, M. S. (1973). The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, 78(6), 1360–1380.
- Hayek, F. A. (1973). *Rules and Order*. London: University of Chicago Press.
- Hayek, F. A. (1976). *The Sensory Order: An Inquiry Into the Foundations of Theoretical Psychology*. London: University Chicago Press.
- Helin, S., Jensen, T., Sandström, J. y Clegg, S. (2011). On the dark side of codes: Domination not enlightenment. *Scandinavian Journal of Management*, 21(7), 24–33.
- Holland, J. H. (1992). Complex adaptive systems. *A New Era in Computation*, 121(1), 17–30.
- Holland, J. H. (1995). *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. New York: Perseus Books Group.
- Holland, J. H. (1998). *Emergence: From Chaos to Order*. New York: Perseus Books Group.
- Holland, O. y Melhuish, C. (1999). Stigmergy Self-Organization, and Sorting in Collective Robotics. *Artificial Life*, 5(2), 173–202.
- Kauffman, S. A. (1995). *At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*. New York: Oxford University Press.
- Kauffman, S. (2003). *Investigaciones: complejidad, autoorganización y nuevas leyes para una biología general*. Barcelona: Tusquets.
- Kolbe, D. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Laihonon, H. (2006). Knowledge flows in self-organizing processes. *Journal of Knowledge Management*, 10(4), 127–135.
- Lewin, R. (1992). *Complexity: Life at the Edge of Chaos* (2nd ed.). Chicago: The University of Chicago Press.
- Lu, Q. y Mahfouf, M. (2010). A model-free self-organizing fuzzy logic control system using a dynamic performance index table. *Transactions of the Institute of Measurement & Control*, 32(1), 51–72.
- Luigi, P. (2010). *La vida emergente*. Barcelona: Matemas.
- Maldonado, C. E. (2009). Complejidad de los sistemas sociales: un reto para las ciencias sociales. *Cinta Moebio*, 36, 146–157.
- Maldonado C.E. (2009b). El significado y alcance de pensar en sistemas vivos. Revista Thelos. Disponible en: <http://thelos.utem.cl/2009/09/15/significado-y-alcance-de-pensar-en-sistemas-vivos/>. Fecha de consulta 23 de febrero de 2011.
- Maldonado, C. E. (2010). Construyendo la evolución. Filosofía de la biología y filosofía de la tecnología. Un ensayo sobre la velocidad. In I. Hernandez, & R. Niño (Eds.), *Estética, vida artificial y biopolítica* (pp. 69–90). Bogotá: Universidad Javeriana.
- McKelvey, B. (2004). Complexity science as order-creation science: New theory, new method. *Emergence. Complexity & Organization*, 6(4), 2–27.
- Mitleton, K. E. (2003). Ten principles of Complexity & Enabling Infrastructures. In *Complex Systems and Evolutionary Perspectives of Organisations: The Application of Complexity Theory to Organisations*. London: London School of Economics.
- Mitleton K.E. (2005a). Designing a New Organisation: A Complexity Approach. Retrieved Feb 12, 2011, from LSE Complexity Research Programme: <http://www.psych.lse.ac.uk/complexity/Publications/icosspublications.html>. Fecha de consulta 12 de febrero de 2011.
- Mitleton K. E. (2005b). Co-Evolutionary Integration: A Complexity Perspective on Mergers & Acquisitions. Retrieved Feb 12, 2011, from LSE Complexity Research Programme: <http://www.psych.lse.ac.uk/complexity/Publications/icosspublications.html>. Fecha de consulta 12 de febrero de 2011.
- Mlodinow, L. (2008). *El andar del borracho. Cómo el azar gobierna nuestras vidas*. Barcelona: Crítica (Traducción: S. Martínez Mendizabal).
- Nicolis, G. y Lefever, R. (1975). *Membranes, Dissipative Structures and Evolution*. New York: John Wiley and Sons.
- Nicolis, G. y Prigogine, I. (2007). *La estructura de lo complejo: en el camino hacia una nueva comprensión de las ciencias*. México: Alianza.
- Nicolis, S. C., Theraulaz, G. y Deneubourg, J. L. (2005). The effect of aggregates on interaction rate in ant colonies. *Animal Behaviour*, 69(3), 535–540.
- Nitschke, G. (2005). Emergence of cooperation: State of the art. *Artificial Life*, 11(3), 367–396.
- Perrow, C. (1986). *Complex Organizations: A Critical Essay* (3rd ed.). New York: Random House.
- Prigogine, I. (1983). *Tan solo una ilusión: una exploración del orden a partir del desorden*. Barcelona: Tusquets.
- Richardson, K. A. (2008). Managing complex organizations: Complexity thinking and the science and art of management. *Emergence. Complexity & Organization*, 10(2), 13–26.
- Riolo, R. L., Cohen, M. D. y Axelrod, R. (2001). Evolution of cooperation without reciprocity. *Nature*, 414(6862), 441–443.
- Shimada, M., Ishii, Y. y Shibao, H. (2010). Rapid adaptation: A new dimension for evolutionary perspectives in ecology. *Population Ecology*, 52(1), 5–14.
- Solé, R. y Goodwin, B. (2000). *Signs of Life: How Complexity Pervades Biology*. United States of America: Perseus Book Group.
- Stace, W. T. y Goldstein, J. A. (2006). Novelty, indeterminism and emergence. *Emergence: Complexity & Organization*, 8(2), 77–95.

- Stacey, D. R. (1995). The science of complexity: An alternative perspective for strategic change processes. *Strategic Management Journal*, 16(6), 1986–1998.
- Stacey, R. (1996). Management and the science of complexity: If organizational life is nonlinear, can business. *Research Technology Management*, 39(3), 3–8.
- Vesterby, V. (2008). . *Origins of self-organization, emergence and cause* (3) Goodyear: AZ ISCE Publishing.
- Watts, D. J. (2006). *Seis grados de separación. La ciencia de las redes en la era de acceso*. Barcelona: Paidós.
- Weick, K. E., Sutcliffe, K. M. y Obstfeld, D. (2005). Organizing and the process of sensemaking. *Organization Science*, 16(4), 409–421.
- Willmott, H. (2011). Institutional work for what? Problems and prospects of institutional theory. *Journal of Management Inquiry*, 20(1), 67–72.
- Wulun, J. (2007). Understanding complexity, challenging traditional ways of thinking. *Systems Research & Behavioral Science*, 24(4), 393–402.