

Las organizaciones como sistemas complejos

Organizations as complex systems

*Pablo Guerrero Sánchez** / *José Guerrero Grajeda*** / *Augusto R. Pérez Mayo****

Resumen

Se estudian las organizaciones como sistemas complejos, en tanto que operan bajo incertidumbre y fluctuación con características de no linealidad, caoticidad, autoorganización, fractalidad; complejidad relacional –con procesos de diferenciación–, y cognitiva como diferente naturaleza de trabajo, en una sociedad global y de conocimiento, tecnología y toma de decisiones; y con diferentes tipos, en particular las relacionadas con la educación como las universidades, pero también sistemas de organizaciones en red donde se reconocen factores globales, organizacionales y singulares, así como concretos que se vinculan de forma dialéctica. Se ilustra la relevancia de las matemáticas en cierto tipo de análisis de las organizaciones, que ayuda a entender a éstas como sistemas abiertos y complejos.

Palabras clave: organizaciones, sistemas complejos, sistemas de ecuaciones no lineales, comportamiento organizacional.

Abstract

Organizations are studied as complex systems, insofar as they operate under uncertainty and fluctuation, with characteristics of non-linearity, chaoticity, self-organization, fractality; complexity relational –with processes of differentiation–, and cognitive as a different nature of work, in a global society and of knowledge, technology and decision-making, with different types of organization, in particular some models of the most complex ones related to education, such as universities, but also systems of networked organizations where global factors, organizations and singular and concrete are recognized that are linked in a dialectical way thus. We will try to understand through various mathematical models the relationship between complex contingent

* Profesor-investigador, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

** Profesor de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

*** Profesor-investigador, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

phenomena in the environment such as the pandemic and the repercussions and multiple characteristics that make organizations open and complex systems.

Key words: organizations, complex systems, systems of nonlinear equations, organizational behavior.

Artículo recibido: 30/04/2021

Apertura del proceso de dictaminación: 17/05/2021

Artículo aceptado: 12/10/2021

INTRODUCCIÓN

Existe una diversidad de tipos de organización y algunas parecen ser más complejas que otras, como el caso de las universidades. Una de las tendencias para entender la complejidad de este tipo de organización incluye la toma de decisiones y el aprendizaje.

Cohen *et al.* (1972) usan a las universidades con su modelo de bote de basura, uno de los más famosos de la toma de decisiones. Miran a los agentes como los que proveen soluciones en busca de problemas a los cuales aplicar dichas soluciones. Su simulación provee un medio para comprender cómo problemas organizacionales son solucionados en organizaciones plagadas con ambigüedades de fines y conflicto.¹

En el contexto de la complejidad, las universidades pueden ser vistas como Sistemas Flojamente Acoplados, donde las partes sólo se tocan de manera tangencial y cuando surgen contingencias externas al sistema,² operando de forma separada, con lógicas y tiempos diferentes la mayor parte del tiempo, es decir, como si tuvieran espacios intersticiales dentro de la organización y entre organizaciones, lo que provoca comportamientos complejos. En estos

¹ Steve Maguire, Bill McKelvey, Laurent Mirabeau y Nail Öztas, "Complexity science and organization studies", en Clegg, Hardy, Lawrence y Nord (eds.), *The Sage handbook of organization studies*, vol. 1, núm. 5, 2006, SAGE Publications, p. 187.

² Pablo Guerrero Sánchez, David Guerrero Sánchez y José Guerrero Grajeda, "Elementos para el estudio de las organizaciones desde la perspectiva de los sistemas dinámicos", *Política y Cultura*, núm. 52, julio-diciembre, 2019, México, UAM Xochimilco, pp. 193-210.

espacios entre organizaciones operan actores con poder e influencia que provocan cambios, como en el ejemplo de Villani, quien menciona que:

[...] organizaciones involucradas en actividades de transferencia de tecnología entre universidades e industria [...] las organizaciones formales utilizan los espacios intersticiales para fomentar la colaboración entre campos e identificar el conjunto de actividades formales e informales empleadas por catalizadores para gestionar la complejidad que surge.³

Esta complejidad se puede modelar, según Saoud,⁴ a partir de la colaboración entre agentes con interdependencias, donde los errores son el número de conversaciones/interacciones en grupos pequeños; cuando éstos se pueden eliminar se previenen escenarios catastróficos de parámetros y valores.

Pereira⁵ señala que las universidades son complejas y como organizaciones son dinámicas en términos del manejo de información; deben responder a retos y amenazas así como a constantes acreditaciones por parte de agencias y mecanismos de regulación externos al sistema; solventando estas demandas con dimensiones verticales y horizontales. Las demandas además dependen de fluctuaciones, cambios, y necesidades contingentes como los cursos en línea y la calidad, frente a la pandemia.

Algunos temas y autores que establecen elementos complejos para el análisis de las instituciones de educación superior son: la ética de la gerencia;⁶ los estados de desarrollo; la madurez de los modelos de los sistemas de información y tecnología;⁷ la abstracción del modelo de madurez de gestión de proyectos;⁸

³ Elisa Villani y Nelson Phillips, "Formal organizations and interstitial spaces: Catalysts, Complexity, and the initiation of cross-field collaboration", *Strategic Organization*, vol. 19, núm. 1, 2020, pp. 5-36.

⁴ Narjès Bellamine-Ben Saoud y Gloria Mark, "Teoría de la complejidad y colaboración: un simulador basado en agentes para un equipo de diseño de misiones espaciales", *Computational and Mathematical Organization Theory*, vol. 13, núm. 2, 2007, pp. 113-146 [https://doi.org/10.1007/s10588-006-9002-7].

⁵ Rui Humberto Pereira, João Vidal de Carvalho y Álvaro Rocha, "Architecture of a maturity model for information systems in higher education institutions: multiple case study for dimensions identification", *Computational and Mathematical Organization Theory*, 2021 pp. 1-16 [https://doi.org/10.1007/s10588-021-09342-z].

⁶ Emma Bell y Alan Bryman, "The ethics of management research: an exploratory content analysis", *British Journal of Management*, vol. 18, núm. 1, 2007, pp. 63-77.

⁷ João Vidal de Carvalho, Rui Humberto Pereira y Álvaro Rocha, "Maturity models of education information systems and technologies: a systematic literature review", 13th Iberian conference on information systems and technologies (CISTI), IEEE, 2018.

⁸ C. Demir e İbrahim Kocabaş, "Project management maturity model (PMMM) en educational organizations", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 9, 2010, pp. 1641-1645.

las condiciones de madurez de los modelos de calidad para los cursos en línea⁹ y la ciencia¹⁰ del diseño en la investigación de sistemas de información;¹¹ los estudios de casos cualitativos y su validez;¹² la estrategia de las organizaciones que aprenden;¹³ así como metodológicamente, el reto de estudiar la calidad y madurez de su proceso utilizando el enfoque de modelado de ecuaciones estructurales;¹⁴ la elaboración de las decisiones;¹⁵ y la situación de madurez en el diseño organizacional.¹⁶

En los estudios de los autores citados, cada uno de los elementos ha sido analizado desde varios modelos explicativos; como el proceso de madurez, la tecnología, los tipos de estudio y la validez científica de los mismos así como sus estrategias, por ejemplo, en el entorno actual, la calidad de los cursos en línea como forma de adaptación al medio cambiante y las nuevas demandas. La complejidad, al ser un aspecto de frontera de la ciencia, implica que está en construcción, así como la validez de los enfoques, y su aplicación en el área de las universidades, que implica la definición de variables, así como la rigurosidad de su delimitación, y donde la interacción dinámica entre las ciencias sociales y las exactas tiene un papel relevante.

⁹ Dan Gu, Jing Chen y Wandong Pu, "Online course quality maturity model based on evening university and correspondence education (OCQMM)", 3rd international conference on communication software and networks (ICCSN), IEEE, 2011, pp. 5-9.

¹⁰ Rogério Rossi y Pollyana Notargiacomo Mustaro, "eQETIC: a maturity model for online education", *Interdisciplinary Journal of e-Skills and Life Long Learning*, vol. 11, 2015, pp. 11-24.

¹¹ Alan R. Hevner, Salvatore T. March, Jinsoo Park y Sudha Ram March, "Ciencia del diseño en la investigación de sistemas de información", *Management Information Systems Quarterly*, vol. 28, núm. 1, 2004, pp. 75-105.

¹² Hyett Nerida, Amanda Kenny y Virginia Dickson-Swift, "Methodology or method? A critical review of qualitative case study reports", *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-being*, vol. 9, núm. 1, 2014, p. 23606.

¹³ John Kenny, "Strategy and the learning organization: a maturity model for the formation of strategy", *The Learning Organization*, vol. 13, núm. 4, 2006, pp. 53-368.

¹⁴ R. Manjula y J. Vaideeswaran "A new CMM-quality education (CMM-QE) framework using SEI-CMM approach and calibrating for its process quality and maturity using structural equation modeling - PLS approach", *International Journal of Software Engineering and its Applications*, vol. 6, núm. 4, 2012, pp. 117-130.

¹⁵ Tobias Mettler "Thinking in terms of design decisions when developing maturity models", *International Journal of Strategic Decision Sciences*, vol. 1, núm. 4, 2010, pp. 76-87.

¹⁶ Tobias Mettler y Peter Rohner, "Situational maturity models as instrumental artifacts for organizational design", Proceedings of the 4th international conference on design science research in information systems and technology, 2009.

CREANDO MODELOS EXPLICATIVOS

Las organizaciones como sistemas complejos tienen influencia de los directivos que se pueden enfocar hacia la motivación o el liderazgo para la autorregulación¹⁷ y están inmersas en un ambiente dinámico,¹⁸ donde el acoplamiento y los costos de transacción se vinculan por medio del capital social y la frecuencia de la colaboración, el desempeño de forma negativa, o la cooperación en los proyectos complejos en organizaciones en red.¹⁹ Pueden existir asentamientos organizacionales que incorporan de manera duradera múltiples objetivos de forma institucional; en cada nivel de asentamiento se incorpora una nueva lógica de forma periódica,²⁰ también influye el tipo de organización y el tamaño, por ejemplo el caso de las organizaciones de tipo familiar, caracterizadas por la función activa de sus dueños, con orientación a largo plazo, identidad, valores familiares, compromiso y pertinencia emocional;²¹ así, el ambiente, el tamaño y el tipo de organización recubren de variables diferenciales la respuesta compleja frente a la incertidumbre.

Resulta interesante la propuesta de Maguire *et al.*, que puede ser utilizada para la comprensión e interpretación del comportamiento organizacional, donde:²²

1. Los sistemas complejos tienen una gran cantidad de elementos.
2. Los elementos interactúan de forma dinámica.

¹⁷ Mónica Flores Marín y Guiseppe Vanoni, “Competencias directivas requeridas por los CEO ante la complejidad de las organizaciones del siglo XXI”, *Suma de negocios*, vol. 7, núm. 16, 2016, pp. 113-124.

¹⁸ Luz Esperanza Bohórquez Arévalo, “La comprensión de las organizaciones empresariales y su ambiente como sistemas de complejidad creciente: rasgos e implicaciones”, *Ingeniería*, vol. 21, núm. 3, 2016, pp. 363-377.

¹⁹ Curt Moore, G. Tyge Payne, Chad Autry y Stanley E. Griffis, “Project Complexity and Bonding Social Capital in Network”, *Group & Organization Management*, vol. 43, núm. 6, 2016, pp. 936-970.

²⁰ Henri Schildt y Markus Perkmann, “Organizational settlements: Theorizing how organizations respond to institutional complexity”, *Journal of Management Inquiry*, vol. 26, núm. 2, 2017, pp. 139-145.

²¹ M. Hitt, “Advancing Organization Studies in Family Business Research: Exploring the Multilevel Complexity of Family Organizations”, *Organization Studies*, vol. 36, núm. 9, 2016, pp. 1269-1272.

²² Steve Maguire, Bill McKelvey, Laurent Mirabeau y Nail Öztas, “Complexity science and organization studies”, en Clegg, Hardy, Lawrence y Nord (eds.), *The Sage handbook of organization studies*, vol. 1, núm. 5, 2006, SAGE Publications, pp. 165-214.

3. Las interacciones son ricas, cualquier elemento en el sistema puede influenciar o ser influenciado por cualquier otro.
4. Las interacciones no son lineales.
5. Las interacciones son típicamente de corto alcance.
6. Hay bucles de retroalimentación positivo y negativo de interacciones.
7. Son sistemas abiertos.
8. Operan bajo condiciones de poco equilibrio.
9. Tienen historias.
10. Los elementos individuales usualmente ignoran el comportamiento de todo el sistema donde están.

Contrariamente, Carroll apunta a una diferenciación de la teoría de la organización en la comprensión de la complejidad y la búsqueda de autonomía en los niveles bajos:

La teoría de la organización aboga por la diferenciación e integración horizontal en entornos inestables, sin considerar la estructura del grupo y el nivel de interdependencia y desempeño en el nivel de complejidad de las tareas. Donde hay efectos de la descentralización que estructuralmente no necesariamente funcionan bien, cuando están muy conectados incluso al borde del caos, siendo que el nivel óptimo de interdependencia es bastante bajo independientemente del tamaño del grupo.²³

Las organizaciones como sistemas tienen individuos con grados probabilísticos de acción.²⁴ Lo contrario del control organizacional es la libertad, es la diferencia entre el actor y el sistema. Las organizaciones tienen, por lo tanto, reglas, burocracia, procesos y control. Así, el sistema opera con estas reglas, las cuales pueden funcionar como atrayentes²⁵ o repelentes (rechazo, expulsión). Mientras que el individuo tiene rasgos que según interactúan con el sistema,

²³ Tim Carroll y R.M. Burton, "Organizations and Complexity: Searching for the Edge of Chaos", *Computational & Mathematical Organization Theory*, 2000, pp. 319-337 [https://doi.org/10.1023/A:1009633728444].

²⁴ Lou Lu, Shu-Fang Kao, Ting-Ting Chang, Hsin-Pei Wu y Cary L. Cooper, "Work/family demands, work flexibility, work/family conflict, and their consequences at work: A national probability sample in Taiwan", *International Perspectives in Psychology: Research, Practice, Consultation*, vol. 1(S), 2011, pp. 68-81.

²⁵ J. Barkley Rosser Jr., Ahmed Ehsan y Georg C. Hartmann, "Volatility via social flaring", *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2003, vol. 50, núm. 1, pp. 77-87.

como los *biológicos* (red neuronal y neurotransmisores),²⁶ los *psicológicos*, y los *sociales*, donde –a nivel macro– intervienen las instituciones. En nivel medio están las propias organizaciones y grupos.²⁷ A nivel micro opera la psicología; la cognición (la racionalidad económica y limitada, las funciones ejecutivas, la hiperfrontalidad cerebral y la lógica). En este contexto, Christina Klüver y Jürgen Klüver apuntan modelos matemáticos y computacionales para referirse a los modelos cognitivos:

En contraste con la estructura lógica de, por ejemplo, las teorías físicas, la teoría de Piaget podría llamarse algorítmica en el sentido de que los procesos básicos como la asimilación deben modelarse mediante algoritmos acordes y no mediante ecuaciones. Construimos con éxito un modelo algorítmico de la teoría de Piaget a través de una nueva red neuronal.²⁸

A nivel del individuo también operan las emociones, el sistema límbico y la lógica de sentimientos, el aprendizaje y la memoria. Y finalmente el comportamiento, que es la suma de condiciones iniciales con estructuras similares y significados, que dan como resultado una conducta diferente, así como apreciaciones conflictivas de los actores con diferentes creencias, valores, metas e intereses y acuerdos intersubjetivos.

La complejidad organizacional implica incertidumbre; los ejecutivos no pueden saber cuáles serán las consecuencias de sus acciones, sobre todo a largo plazo, ya que no tienen control de su evolución debido a la interdependencia de sus partes. La complejidad organizacional puede tener dos aproximaciones: la primera es la modelación matemática y la segunda implica una aproximación de la poca predicción de las consecuencias usando modelos para una comprensión más profunda de las dinámicas de las estrategias intuitivas.²⁹ Estos efectos son las relaciones humanas entre los grupos y las interpretaciones cognitivas de dichas acciones. Mediante la probabilidad podemos explicar

²⁶ Paul Cilliers, *Complexity and postmodernism: Understanding complex systems*, Routledge, 1998.

²⁷ Bill McKelvey, "Toward a complexity science of entrepreneurship", *Journal of Business Venturing*, vol. 19, núm. 3, 2004, pp. 313-341.

²⁸ Christina Klüver y Jürgen Klüver, "Introduction: social-cognitive complexity, computational models and theoretical frames", *Computational and Mathematical Organization Theory*, vol. 18, núm. 2, 2012, pp. 145-152 [<https://doi.org/10.1007/s10588-012-9115-0>].

²⁹ Ralph Stacey, *Complexity and organizational reality: Uncertainty and the need to rethink management after the collapse of investment capitalism*, Routledge, 2009 [<https://doi.org/10.4324/9780203863657>].

algunas funciones de las interacciones a partir del modelo de complejidad de medida efectiva (CME):

[...] que mide la información mutua entre las infinitas historias pasadas y futuras de un proceso estocástico. De acuerdo con este principio, es particularmente interesante evaluar la complejidad dependiente del tiempo y descubrir las interacciones relevantes [...] con autorregresión vectorial de trabajo cooperativo con parámetros independientes con soluciones de matriz y correlaciones entre los componentes de las fluctuaciones del rendimiento.³⁰

Así, el comportamiento entre fuerzas y probabilidades es un proceso estocástico en el tiempo, es decir, dinámico e interdependiente de mutua influencia, que puede ser visto a partir de las interacciones entre sujetos de un grupo.

Uno de los efectos desde la psicología social en el nivel medio sobre el comportamiento, es la dinámica de grupos mediante las fuerzas internas y la necesidad de aceptación. Así, la organización es un sistema (de fuerzas) con un objetivo y dirección que operan como vectores³¹ que se suman o repelen, y que pueden estar en contraposición con los objetivos del grupo, y entre los individuos (intereses o resistencias) y en varios niveles/departamentos/funciones/lógicas. Así encontramos que puede haber complejidad en la tarea como una práctica social con microprocesos bajo cambios que se mantienen abiertos de forma paralela y que eventualmente se disuelven.³²

EL COMPORTAMIENTO COMPLEJO

La complejidad en el comportamiento no sólo es el resultado de variables biológicas; por ejemplo, gemelos idénticos (o monocigotos) pueden estar en un mismo punto de arranque, y tener ligeras perturbaciones que tengan

³⁰ Christopher Schlick, Soenke Duckwitz y Sebastian Schneide, "Project dynamics and emergent complexity", *Computational and Mathematical Organization Theory*, vol. 19, núm. 4, 2013, pp. 480-515 [<https://doi.org/10.1007/s10588-012-9132-z>].

³¹ Andrew M. Hein, Douglas L. Altshuler, David E. Cade, James C. Liao, Benjamin T. Martin y Graham K. Taylor, "An algorithmic approach to natural behavior", *Current Biology*, vol. 30, núm. 11, 2020, pp. R663-R675.

³² Anja Danner-Schröder y Simone M. Ostermann "Towards a Processual Understanding of Task Complexity: Constructing task complexity in practice", *Organization Studies*, 2020 [<https://doi.org/10.1177/0170840620941314>].

³³ Marshall B. Jones y D.R. Jones, "Preferred pathways of behavioral contagion", *Journal of psychiatric research*, vol. 29, núm. 3, 1995, pp. 193-209.

como consecuencia comportamientos totalmente opuestos,³³ debido a factores psicológicos (tipos de personalidad, esquizoides, perversos o neuróticos).³⁴ La personalidad y el comportamiento, así como la conducta, pueden ser estables en el tiempo, pero el comportamiento puede a su vez ser poco predecible,³⁵ dependiendo de la capacidad del sistema de influir a partir del grupo, que genere variabilidad en la conducta y los valores internalizados desde la cultura, el estilo de liderazgo³⁶ o la influencia social.³⁷

El control en la organización se puede dar a partir de la manipulación inconsciente, la cooptación de líderes o grupos, la negociación, o la amenaza, incluso por medio de la expulsión. El control se busca para tener predictibilidad del comportamiento en el sistema y mayor eficiencia de los recursos para alcanzar un fin organizacional y para lograr estabilidad en el tiempo contra la incertidumbre, el temor y la irracionalidad; tiene como característica principal la búsqueda de un objetivo: sobrevivir bajo las condiciones del sistema o ambiente con recursos limitados y cambiantes. Para este fin usa la eficiencia energética de los recursos o fuerzas hacia dicho objetivo, pues la sobrevivencia de la organización es un asunto compartido con la necesidad de sobrevivir del grupo y el individuo dentro de la organización. En el caso de las organizaciones públicas, se puede adoptar la estrategia de que todo cambie para que nada cambie, mediante la simulación. Como ejemplo podemos exponer el caso de las organizaciones donde individuos que no están de acuerdo con la gestión promueven cambios de directivos por otros que sean afines a las ideas de los primeros, así todo cambia, pero nada cambia, o cuando se cambia el nombre de una política pública por otro nombre que tiene las mismas funciones y estrategias, así como los mismos fines y personal. En el caso de las organizaciones privadas se usa la estrategia de la calidad, o el isomorfismo, en ambos casos la estrategia interna puede ser tanto el uso de los estímulos externos (dinero) como los internos (simbólico/manipulación/liderazgo tipo Y).

Dentro del ámbito de la estrategia, las reglas pueden ser formales y estar dentro del terreno de la burocracia; e informales, mediante el uso de

³⁴ John Steiner, *Psychic retreats: Pathological organizations in psychotic, neurotic and borderline patients*, Routledge, 2003.

³⁵ Michael Grieves y John Vickers, "Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems", *Transdisciplinary perspectives on complex systems*, Springer, Cham, 2017, pp. 85-113.

³⁶ Fred Dansereau y Francis J. Yammarino, *Leadership: The multiple-level approaches: Contemporary and alternative*, Elsevier Science/JAI Press, 1998.

³⁷ Lisa Rashotte, "Social influence", *The Blackwell encyclopedia of sociology*, 2007.

sistemas sutiles de comunicación que pueden reflejar respuestas instintivas o inconscientes; la conducta en consecuencia puede reflejar una disonancia cognitiva³⁸ (se piensa de una forma pero se actúa de otra).

El comportamiento puede ser objetivo como sucede con un objeto físico y delimitado por leyes estrictas y matemáticas determinísticas, o como en un organismo vivo que puede tener bajo ciertos parámetros un comportamiento predecible como su cantidad de población, a menos que existan elementos contingentes como el cambio climático, la intervención del hombre, y/o las mutaciones. Aquí nos enfocamos en el comportamiento humano que puede a la vez interpretar el medio, adaptarse a las condiciones,³⁹ y tener voluntad. La conducta además puede ser única a diferencia del comportamiento que es más constante y depende de la personalidad más o menos estable, pero siempre está basada en la probabilidad de la acción, los deseos internos, y las restricciones del medio. El cambio en el tiempo puede hacer variar el comportamiento dependiendo de las condiciones, las reglas, la estructura, los procesos y, sobre todo, los otros individuos.

La estabilidad está relacionada con la personalidad que no es estable, ni determinable, sino probable, no predecible, y está bajo el terreno de la incertidumbre y la ambigüedad; depende de variables como la cultura, los valores, y la institución o sedimentación generacional de las reglas.

A nivel micro, el comportamiento está relacionado con el cambio en una neurona que tiene una brecha espectral en un punto de inicio a la primer perturbación, como sucede en la física cuántica, o en neurología con un potencial de acción al umbral de -65 mv a -55 mv, donde se despolariza la membrana; esto es una consecuencia sensitiva a las condiciones iniciales que alteran el comportamiento de las comunicaciones de la neurona y por lo tanto la probabilidad de modificar el comportamiento del sistema humano, que altera la relación social con el medio organizacional. Stevens apunta que podemos aplicar modelos neuropsicológicos en organizaciones cognitivas; en los equipos, donde se presentan cambios en la alteración de tareas y fluctuaciones en la entropía de flujo de datos.⁴⁰

³⁸ Bernard Burnes y Hakeem Jame, "Culture, cognitive dissonance and the management of change", *International Journal of Operations & Production Management*, 1995.

³⁹ William Ross Ashby, "Cybernetics and Requisite Variety", en *An Introduction to Cybernetics*, Londres, Chapman & Hall, 1956.

⁴⁰ Ronald Stevens, Trysha Galloway, Peter Wang, Chris Berka, Veasna Tan, Thomas Wohlgenuth, Jerry Lamb y Robert Buckles, "Modeling the neurodynamic complexity of submarine navigation teams", *Computational and Mathematical Organization Theory*, vol. 19, núm. 3, 2013, pp. 346-369 [https://doi.org/10.1007/s10588-012-9135-9].

Así, tanto en biología como en física, incluso en ciencias sociales y en especial en las organizaciones, periodos de caos suceden a perturbaciones en el ambiente⁴¹ o de forma autopoietica referenciada que pueden tender a un equilibrio dinámico; como en la fibrilación del corazón, con restricciones del entorno. Pasa lo mismo con los ciclos económicos (tienden a un comportamiento tipo fractal⁴² como el conocido conjunto de Mandelbrot, al que simbolizaremos con \mathcal{M} , constituido por el conjunto de puntos del plano complejo que satisfacen:

Un punto $c \in \mathbb{C}$

es un punto de \mathcal{M} si

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|z_{n+1} = z_n^2 + c\| \neq \infty, \quad z_0 = 0$$

O, dicho de otro modo,

$$\mathcal{M} = \{c \in \mathbb{C} : |z_n| \nrightarrow \infty\}$$

siendo Z_n la sucesión definida por:

$$z_{n+1} = z_n^2 + c; \quad z_0 = 0$$

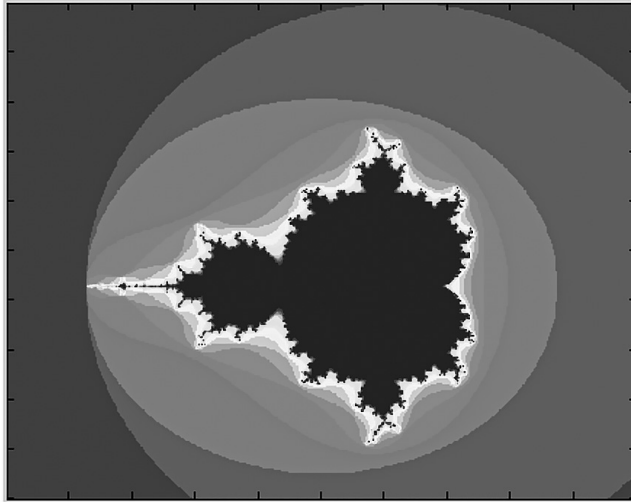
Es decir, el punto c está en \mathcal{M} si los módulos de la sucesión que genera (definida anteriormente) está acotada.⁴³

⁴¹ Anthony W. Fisher Edwards, "The genetical theory of natural selection", *Genetics*, vol. 154, núm. 4, Oxford, Reino Unido, Clarendon, 2000, pp. 1419-1426.

⁴² Juan Pastor Martín y Antonio León García-Izquierdo, "Complejidad y psicología social de las organizaciones", *Psicobema*, 2007, vol. 19, núm. 2, pp. 212-217.

⁴³ [<https://www.matesfacil.com/fractales/Mandelbrot/conjunto-Mandelbrot-definiciones-teorema-ejemplos-imagenes-funcion-sucesion-divergencia-multibrot-galeria.html>].

Una imagen típica de un conjunto de Mandelbrot es:⁴⁴



Tomando $n = 20$ (veinte iteraciones de la fórmula recursiva).

Este conjunto está inmerso en el ámbito de las bifurcaciones periódicas, algo semejante al caso de las organizaciones, donde se pasa por periodos de caos a otros estados de caos con periodos de estabilidad intermedia en el proceso de cambio, comportamiento que también se da en los fluidos dinámicos, como el de mercurio con pequeño gradiente de temperatura para inducir la convección, por ejemplo; lo interesante es que este tipo de comportamiento también se puede encontrar en el mundo social.

CONTRADICCIONES ENTRE LA ORGANIZACIÓN Y EL COMPORTAMIENTO HUMANO

Existe una contradicción entre la organización y el comportamiento humano; la organización busca el control a partir de las reglas y la burocracia, mientras que la naturaleza humana usa la creatividad, la flexibilidad, la innovación, y los retos como punto de partida cognitivo interno en relación con los estímulos externos para la motivación y la adaptación al cambio.

⁴⁴ Imagen tomada de la dirección anterior.

De esta forma se entiende que las condiciones intrínsecas que resultan opuestas en su naturaleza a los sujetos implican movilidad y cambio, por ejemplo el hambre en el caso de un sistema biológico, o el poder y los recursos en el caso de una organización y sus miembros.

En el caso de las estructuras disipativas,⁴⁵ encontramos que las organizaciones pueden responder de forma adaptativa totalmente diferente en el futuro a partir de estímulos externos. Unas organizaciones reaccionarán estratégicamente de forma diferente respecto de las contingencias como las nuevas necesidades sociales, económicas, políticas,⁴⁶ ecológicas, culturales, tecnológicas, o como actualmente respecto de la pandemia provocada por el SARS-CoV-2.

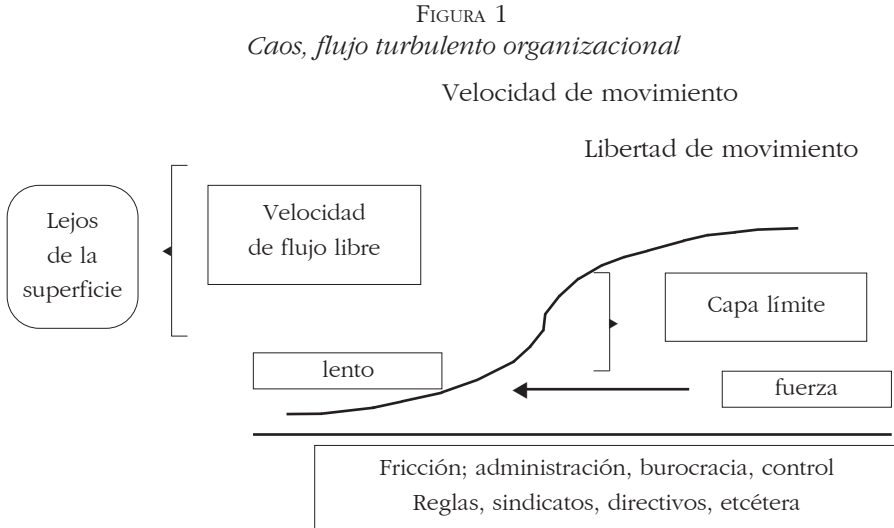
Otra variable que afecta el comportamiento son los estilos de liderazgo; el dejar hacer en contraposición al control, y el transformacional.⁴⁷ El todo depende del tipo de personas dentro de la organización, y a la vez la influencia de las restricciones dentro de la organización como en un flujo turbulento, donde en la mayoría de las dinámicas de los fenómenos a un nivel inferior se ejecuta a una frecuencia más rápida que a un nivel superior,⁴⁸ según se ilustra en la Figura 1.

⁴⁵ Nadia Marchettini, Emilio del Giudicebc, Vladimir Voeikovcd y Enzo Tiezzia, "A medium where dissipative structures are produced by a coherent dynamics", *Journal of Theoretical Biology*, vol. 265, núm. 4, 2010, pp. 511-516.

⁴⁶ John Child y Suzana B. Rodrigues, "How organizations engage with external complexity: A political action perspective", en *Understanding Organizations in Complex, Emergent and Uncertain Environments*, Palgrave Macmillan, Londres, 2012, pp. 13-44.

⁴⁷ B.J. Avolio y B.M. Bass, "Individual consideration viewed at multiple levels of analysis: A multi-level framework for examining the diffusion of transformational leadership", *Monographs in organizational behavior and industrial relations*, vol. 24, 1998, pp. 53-74.

⁴⁸ Herbert Alexander Simon, "Coping with complexity", en Groupe de recherche sur l'adaptation, la systémique et la complexité économique (GRASCE) (dir.), *Entre systémique et complexité, chemin faisant*, Mélanges en l'honneur de Jean-Louis Le Moigne, París, PUF, 1999, pp. 233-241.



Como se observa, el flujo organizacional puede ser turbulento, impredecible, caótico, y dependiente de las condiciones iniciales, lo que puede llevar a resultados finales absurdos; situación semejante a la que se da en la dinámica de fluidos ante situaciones de turbulencia, donde rigen las ecuaciones de Navier Stokes.⁴⁹

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + \frac{\partial v_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_x}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_x}{\partial z} v_z \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} - \rho g_x + \mu \nabla^2 v_x + SM_x; \text{ para la dirección de } x$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + \frac{\partial v_y}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_y}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_y}{\partial z} v_z \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} - \rho g_y + \mu \nabla^2 v_y + SM_y; \text{ para la dirección de } y$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + \frac{\partial v_z}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_z}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_z}{\partial z} v_z \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g_z + \mu \nabla^2 v_z + SM_z; \text{ para la dirección de } z$$

La idea es que es posible adaptar las ecuaciones de Navier Stokes para analizar la dinámica organizacional, donde el flujo es difuso, mezcla las cosas, y es disipativo –la energía se disipa con la pérdida de energía inicial o impulso del objetivo individual. Por ejemplo, podríamos considerar a la energía del medio organizacional como la economía, la ecología, y las restricciones y contingencias como la pandemia.

⁴⁹ Véase por ejemplo [<https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-ecuacion-de-navier-stokes-definicion/>].

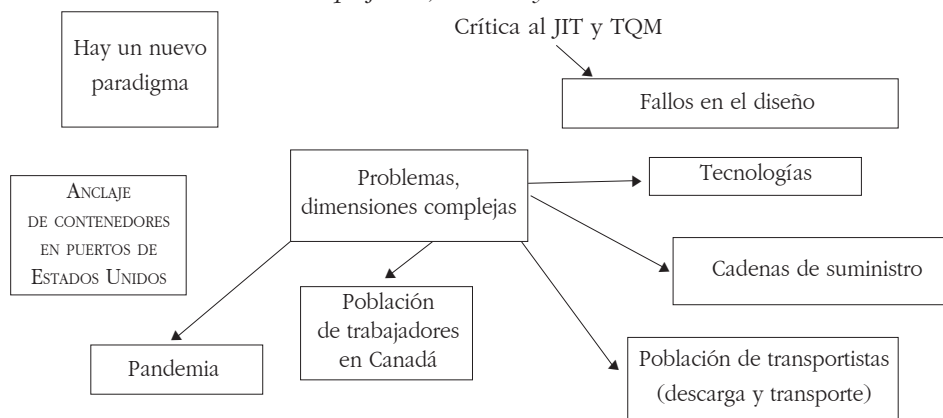
Se necesita más energía individual y de grupo para adaptarse a las restricciones de control en la organización, lo que frena la innovación y el aprendizaje organizacional. Los obstáculos organizacionales pueden producir vórtices en la energía para el logro de objetivos a corto plazo.

En el caso de los animales, éstos se han adaptado para aprovechar los vórtices de un mundo turbulento para eficientar su requerimiento energético. El flujo laminar apela al deseo de orden y control; pero el mundo organizacional es caótico e impredecible, desordenado a nivel macro, medio y micro; es decir, el mundo social, así como el físico, se comporta más bien como un flujo turbulento. Chanda señala que las condiciones de los gerentes en etapas intermedias y de factores fuera de control, están centradas en la innovación exploratoria y explotatoria, como conocimiento organizacional enfrentado al mercado, donde su éxito depende del entorno estable y moderadamente turbulento.⁵⁰

ESTUDIO DE CASO DEL CAMBIO EN EL AMBIENTE

Presentamos de forma compacta un estudio de caso que ilustra la complejidad a partir del entorno y las cadenas de suministro, así como los problemas globales a partir del diseño y la administración por “calidad total” y el “justo a tiempo”. Iniciamos con la Figura 2.

FIGURA 2
Complejidad, escasez y suministro

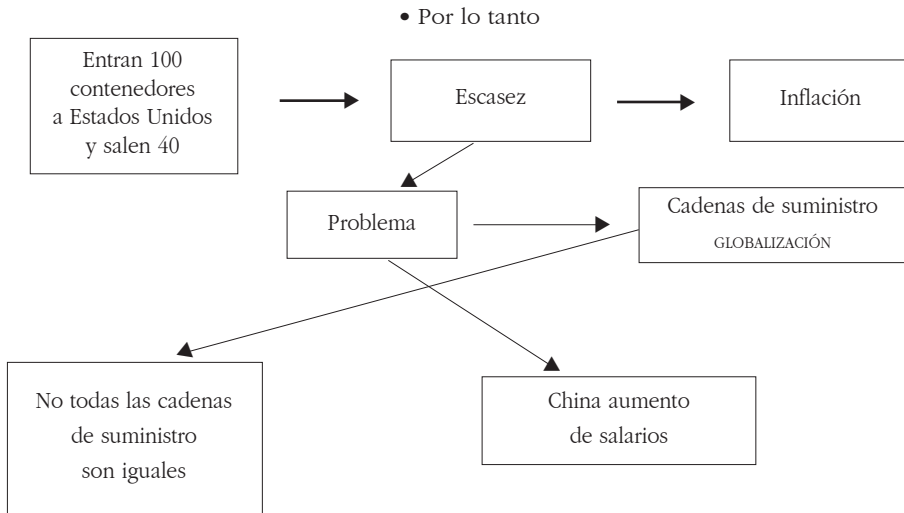


⁵⁰ Sasanka Sekhar Chanda, “Inferring final organizational outcomes from intermediate outcomes of exploration and exploitation: the complexity link”, *Computational and Mathematical Organization Theory*, vol. 23, núm. 1, 2017, pp. 61-93 [https://doi.org/10.1007/s10588-016-9217-1].

Actualmente existe un problema de escasez, debido a que usando el modelo “justo a tiempo” se ha tenido dificultad ligada al diseño estructural como la falta de inventario. Las dimensiones que afectan el comportamiento del todo comienzan con la tecnología que ha modificado a las organizaciones desde el ambiente y los requerimientos para satisfacer las necesidades de la población.

Encontramos que otro factor dimensional es el problema de las cadenas de suministro, porque hay escasez de transportistas y de contenedores, lo que de un momento a otro se puede modificar a partir de la utilización de inteligencia artificial en el transporte dentro de los continentes, pero que depende del avance tecnológico, la cantidad de suministro de chips y las regulaciones. Hay problemas con el desembarco en las Bahías de destino en los mercados importantes como el de Estados Unidos. Otro fenómeno emergente es el despido de trabajadores en Canadá, quienes no quieren regresar a sus empresas porque sintieron que no fueron respetados como seres humanos, lo que implica un comportamiento no previsto por parte de las organizaciones y que tiene que ver con la interpretación cognitivo-subjetiva-valorativa de la lógica de sentimientos de los individuos ante el comportamiento de las organizaciones para sobrevivir durante el periodo de pandemia.

FIGURA 3
Complejidad en las cadenas de suministro



En Estados Unidos, de cada 100 contenedores que entran a puerto en 2021, sólo salen 40, lo que produce escasez a pesar de que los países productores trabajen de forma normal, lo que produce inflación, ya que no sólo las empresas trabajan bajo el esquema del “justo a tiempo” sino también el mundo de forma global trabaja así, mientras que en las cadenas de suministro se pueden producir, por ejemplo, parabrisas en un país, pintura en otro, y ensamblar el automóvil en otro; ello hace que el mundo sea en sí mismo una cadena de suministro basado en dicho esquema. Como consecuencia se provoca que si en alguna parte, la cadena de suministro falla, falla todo el sistema, porque no todas las cadenas de suministro son iguales. Por ejemplo, para el desarrollo de chips, hay gran escasez, lo que produce problemas en la construcción de automóviles, teléfonos, pantallas, computadoras, etcétera. Existe también escasez de combustible en el Reino Unido, debido a la falta de personal en las redes de distribución (transportistas) como consecuencia de factores políticos como el Brexit, que también podrá ser modificado a partir de la utilización de vehículos autónomos con la implementación de la inteligencia artificial; sin embargo, hasta ahora esta contingencia ha provocado un aumento en el precio. Pero un problema de la automatización es que también producirá un aumento en el desempleo de muchos tipos de trabajo.

Así, la relación entre varias organizaciones como una metaorganización produce efectos complejos, ya que como lo apunta Solansky⁵¹ existen tensiones desestabilizadoras y estabilizadoras competitivas donde el estado de no equilibrio puede provocar que el equipo sea efectivo en los límites entre el caos y el equilibrio.

En este contexto, el sistema se puede visualizar en términos del modelo de Kuramoto, surgido originalmente en el ámbito de la química y la biología y motivado por el estudio de ciertos osciladores biológicos y químicos y su acoplamiento. La ecuación del modelo es:

$$\dot{\theta}_i = \omega_i + \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N \sin(\theta_j - \theta_i)$$

donde K es la constante de acoplamiento de los osciladores.

⁵¹ Stephanie T. Solansky, Tammy E. Beck y Deandra Travis, “A complexity perspective of a meta-organization team: The role of destabilizing and stabilizing tensions”, *Human Relations*, vol. 67, núm. 8, 2014, pp. 1007-1033.

Es posible mediante un experimento o la simulación numérica, observar cómo la variabilidad de los elementos individuales afecta al sistema en su conjunto de forma compleja. Llevado al plano social, esto se puede ver, en términos sistémicos, como la necesidad de aceptación de los individuos a partir de la dinámica de grupos y la relación con el líder. En otras palabras, como lo apunta Campbell-Hunt,⁵² es en las teorías de la práctica social y la adaptación desde donde se sedimenta la idea de las estructuras dinámicas de las estrategias organizacionales, como un sistema adaptativo complejo.

CONCLUSIÓN

El comportamiento humano organizacional y social, a semejanza del comportamiento del mundo físico, es función de las partes, así como de las relaciones entre éstas y su relación con el todo, que es más que la suma de las partes. Así, en una simulación se comienza con un comportamiento individual y se termina con la interacción de todos los elementos individuales, como en una red neuronal, donde al inicio sólo se afectan las partes vecinas, pero después en su momento crítico –como en una masa crítica de fusión–, las partes como moléculas o individuos dentro de la organización, de repente comienzan a cambiar su estado para estar cada vez más sincronizados, pero esto lo hacen de forma inconsciente; bloquean sus fases en el tiempo, una vez que se pasa un nivel crítico de acoplamiento. En todo esto se manifiesta la *complejidad*.

En ciencia tendemos a hacer reduccionismos disciplinares, reduciendo la complejidad organizacional a sus elementos fundamentales para analizar su comportamiento individual, lo que ha provocado un gran avance en la ciencia, pero la gran frontera y desafío para ésta es regresar para comprender la complejidad del todo, como en el sistema inmune.

La complejidad, al ser un aspecto de frontera en la ciencia, implica la interacción dinámica y epistemológica entre las ciencias sociales (sociología, psicología, etcétera) y las exactas (particularmente las matemáticas y la física), así como las neurociencias, ya que la especialización disciplinar de los enfoques no da cuenta del todo; es necesario entender los fenómenos complejos desde una perspectiva multidisciplinaria, integrando más que aislando las visiones, y para ello es necesario usar y precisar términos y establecer equivalencias que tiendan puentes que sean vasos comunicantes entre las disciplinas, pero

⁵² C. Campbell-Hunt, “Complexity in practice”, *Human Relations*, vol. 60, núm. 5, 2007, pp. 793-923.

además se debe conservar el rigor y la validez de los significados internos y la coherencia. Finalmente debemos estudiar a las organizaciones usando todo un cuerpo disciplinar que abarque suficientes herramientas para dar cuenta de la complejidad de su naturaleza, y en todo ello pensamos que una herramienta central son las matemáticas de la complejidad y los sistemas dinámicos.