

Ciencias de la Complejidad



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA



Revista de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Economía de la UNSA

2021 / EDICIÓN ESPECIAL

DOI: 10.448168/ccee012021



Facultad de
Contaduría y
Administración



Decano de la Facultad de Economía

Mg. Alejandro Chávez Medrano

Equipo Editorial

Editor

Dr. Glenn Arce Larrea

Editor invitado

Dr. Ricardo Fernando Rosales Cisneros

Consejo Editorial

Dr. Eligio Cruz Leandro (México)

Dr. Nelson Alfonso Gómez Cruz (Colombia)

Dr. Carlos Eduardo Maldonado (Colombia)

Dr. Leonardo G. Rodríguez Zoya (Argentina)

Dra. María Nely Vásquez Pérez (España)

Dr. Miguel Ramón Viguri Axpe (España)

Dra. Wendy Ugarte Mejía (Perú)

Investigadora Junior Asociado

Bach. Angela Daniela Portugal Pacheco

Edición y Diseño

Mg. María Luisa Paricahua Peralta

Lic. Jaime Mamani Velásquez

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
DE AREQUIPA**

Facultad de Economía

Unidad de Investigación de la Facultad de Economía

cienciasdelacomplejidad@unsa.edu.pe

<http://fec.unsa.edu.pe/revista-ciencias-de-la-complejidad/>

www.unsa.edu.pe





Índice

7	Prólogo	
9	La teoría de la complejidad y los desafíos docentes en las IEMS y Superior en Quintana Roo	Daniela Díaz Pérez María Nathaly Xiu Sánchez Dra. Angelica Reyes Mendoza
21	La Educación en México como un Sistema Complejo	Hilda Beatriz Ramirez Moreno Nora Osuna-Millán Jesus Manuel Niebla Zatarain
27	Teoría de la complejidad y clúster industrial: caso de un clúster de software	Flores Sánchez Carlos Alberto Osuna Millán Nora del Carmen Ricardo Fernando Rosales Cisneros
37	La Teoría de la Complejidad y el Entorno Educativo	María del Consuelo Salgado Soto Josué Miguel Parra Flores
45	La Educación desde una perspectiva de la complejidad	Margarita Ramírez Ramírez Esperanza Manrique Rojas Ismael Plascencia López
51	Complejidad Social y Educación Superior. Análisis Crítico Basado en Agentes	Eduardo Ahumada-Tello Karen Ramos
61	Hacia la Creación de un Simulador como Innovación para Abordar la Complejidad	Ricardo Fernando Rosales Cisneros Ismael Plascencia López Margarita Ramírez Ramírez
67	La Gestión Compleja: de la Jerarquía a las Redes Complejas y la Heterarquía	Carlos Eduardo Maldonado



Prólogo

Hoy en día la pandemia derivada por COVID-19 es una disrupción compleja reflejada en una crisis difícil de abordar y descifrar. La misma ha impactado a todas las economías a nivel mundial, sin distinguir las clases sociales. Asimismo, ha repercutido en áreas de investigación, donde los investigadores en distintos niveles unen fuerzas por medio de trabajo transdisciplinario con el fin de ayudar a minimizar o resolver problemas complejos derivados del impacto de la pandemia. Por otra parte, la complejidad de la situación ha impactado también al sector educativo, en donde las instituciones educativas han tenido que cambiar sus procesos de enseñanza-aprendizaje en vísperas de seguir formando capital humano de calidad. Estas instituciones lidian con desafíos no lineales internos y externos aumentando la complejidad en su organización y gestión. Por ejemplo, los docentes cada día tienen desafíos particulares como la adaptación a las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (NTIC) con el fin de mantener la calidad en la educación y facilitar el conocimiento de forma efectiva.

Es por esto que las instituciones educativas deben abordar esta situación desde las ciencias con el fin de que no solo tengan una visión disciplinaria sino que esta visión sea transdisciplinaria permitiendo comprender el contexto educativo no lineal desde múltiples puntos de vista, derivado de distintas disciplinas. El contexto complejo actual ya está aquí y llegó para quedarse. Tenemos que aprender a vivir y evolucionar con él, la situación lo amerita.

Ha llegado el momento donde las ciencias de la complejidad pueden ayudar a simplificar esta situación, en la forma de analizar, pensar, reflexionar y resolver problemas complejos de forma transdisciplinaria y abierta, inclusive a ciertas características no deterministas dignas de sistemas de comportamiento complejo.

En esta edición de la revista Ciencias de la Complejidad se presentan artículos científicos que desarrollan diferentes temas de investigación la mayoría abordando temas de educación, desarrollo tecnológico y complejidad, todas estas tomando a las ciencias de la complejidad como eje principal siendo la esencia de los mismos.

Dr. Ricardo Fernando Rosales Cisneros

Universidad Autónoma de Baja California



La teoría de la complejidad y los desafíos docentes en las IEMS y Superior en Quintana Roo

Daniela Díaz Pérez

Correo electrónico: diazperezdaniela0911@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1975-7727>
Escuela Superior de Comercio y Administración, Unidad Tepepan, IPN

María Nathaly Xiu Sánchez

Correo electrónico: nathalyxiu03@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0704-8125>
Instituto Tecnológico Superior de Felipe Carrillo Puerto, TecNM

Angélica Reyes Mendoza

Correo electrónico: angelita@uabc.edu.mx
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4926-861X>
Facultad de Ciencias de la ingeniería Administrativas y Sociales, Tecate, B.C.

Recepción: 03/09/2021

Aceptación: 19/10/2021

Resumen

La educación tiene un papel importante en la vida de las personas y en la sociedad en general, por lo cual se requiere analizar cómo la pandemia afectó a las Instituciones de Educación Media Superior y/o Superior en todo el mundo, a la luz de la teoría de la complejidad. La presente investigación se llevó a cabo en Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, con una muestra representativa de 66 docentes, la metodología fue de tipo cuantitativa, con un diseño transaccional y un alcance correlacional, la variable independiente fue los desafíos en sus dimensiones (entorno innovador, retos inesperados, liderazgo) y la variable dependiente gestión de proyectos con sus dimensiones (producto, proceso, personal, sistemas), con la finalidad de impactar en la educación a través de la teoría de la complejidad denotando en primera instancia los principales desafíos a los que se enfrentan los docentes los cuales fueron los retos inesperados en un 75% que comprenden la forma de impartir clases y la manera de relacionarse con los alumnos, en segundo lugar con un 69% el liderazgo relacionado con la motivación a los alumnos y cómo a través de la adecuada gestión se puede mejorar en esta época de contingencia.

Palabras Clave: A2 Educación, I9 contingencia, B3 teoría de la complejidad y L1 Gestión de proyectos.

Abstract

Education plays an important role in people's lives and in society in general, which is why it is necessary to analyze how the pandemic affected Institutions of Higher and

/ or Higher Education throughout the world, in light of the complexity theory. This research was carried out in Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, with a representative sample of 66 teachers, the methodology was quantitative, with a transactional design and a correlational scope, the independent variable was the challenges in its dimensions (environment innovative, unexpected challenges, leadership) and the dependent variable project management with its dimensions (product, process, personnel, systems), in order to impact education through complexity theory denoting in the first instance the main challenges to which teachers face which were the unexpected challenges in 75% that understand the way of teaching and the way of relating to students, in second place with 69% leadership related to the motivation of students and how through proper management it can be improved in this time of contingency.

Key Words: A2 Education, I9 contingency, B3 complexity theory and L1 Project management.

Introducción

Ante los momentos que se viven hoy por hoy en la llegada de la pandemia, es necesario que se empleen estrategias en las Instituciones de Educación Media y/o Superior, para que tanto los docentes como los estudiantes desarrollen habilidades que les permitan gestionar sus clases de manera innovadora en donde demuestren un buen desempeño ante los retos para enfrentar esta situación de la manera más óptima en sus lugares de residencia. Para ello se pretende realizar una investigación que coadyuve a conocer los principales desafíos (entorno innovador, retos inesperados, liderazgo) y cómo ellos, afectan a la gestión de proyectos (producto, proceso, personal, sistemas) de tal manera que brinde estos conocimientos a las instituciones y den las bases para contribuir en la mejora de la gestión de los mismos en medio de esta situación y en momentos futuros. La teoría en este caso la de la complejidad es de utilidad para que los profesionales realicen con eficacia y eficiencia la acción de administrar, donde a través de observar la complejidad del fenómeno organizacional en tiempos de la sociedad del conocimiento en red y de la crisis ambiental se logre afrontar dicha situación (Arias-Pineda y Ramirez-Martinez, 2019).

El objetivo de esta investigación impactar en la educación a través de la teoría de la complejidad denotando en primera instancia los principales desafíos a los que se enfrentan los docentes de las Instituciones de Educación Media y/o Superior derivados de la contingencia mediante la gestión de proyectos en el ámbito educativo con la llegada de la pandemia por COVID19.

La gestión de proyectos según PMI (2013), es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto con el fin de satisfacer sus necesidades. Así mismo Carvalho y Rabechini (2011) complementan esta definición, mencionando la norma ISO 10006, que dice que el manejo del proyecto incluye la planificación, organización, supervisión y control de todos los aspectos del proyecto en un proceso continuo para lograr sus objetivos. Por ejemplo en Estados Unidos de Norteamérica se menciona la aceptación de los principios y prácticas de gestión de proyectos; desarrollar habilidades específicas de planificación y control, incluido el uso de determinados paquetes de software; y mejorar la tasa de éxito de la planificación y ejecución de proyectos (Darchibald, 1989). En este caso se requiere del campo de la gestión de proyectos para apoyar a la educación y a la formación con el objetivo de impactar en la planificación y ejecución de la educación apoyada en las tecnologías de información y comunicación.

Ferrás (2010) afirma que no todos los proyectos son innovación. El autor conceptualiza "proyecto" como una unidad de la innovación, ya que si la organización no tiene una cartera de proyectos de innovación, dice el autor, no es una organización innovadora, independientemente de su estrategia, sus capacidades y de sus proyectos. Afirma que un

Proyecto de innovación debe cumplir con dos requisitos: debe ser capaz de generar ventajas competitivas y debe incorporar el riesgo (principalmente tecnológico o financiero) en la naturaleza.

Para efectos del abordaje de la teoría de la complejidad, Barberousse (2008) opina, que la propuesta del pensamiento complejo ha cuestionado no sólo el concepto mismo de ciencia, sino que ha proclamado que lo que ha variado es la naturaleza misma de lo que entendemos por conocimiento. En consecuencia, se verían también afectados los procesos de construcción de saberes y aprendizajes que ocurren en el marco de las mediaciones pedagógicas. En medio del contexto que se enfrenta, es necesario, visualizar otros enfoques y otras respuestas a los desafíos, que en esta instancia, pueden ser apoyados por esta teoría.

En la presente investigación desarrolla su marco teórico con fuentes de información relacionados al tema que se está investigando y que sirven para dar introducción a la misma. Posteriormente se muestra el método llevado a cabo, el cómo planeamos y realizamos la investigación tanto de campo como teórica, luego de esto los resultados obtenidos de toda nuestra muestra, por último las conclusiones generadas luego del análisis estadístico y teórico así como las respectivas fuentes bibliográficas.

Marco teórico

La forma actual en la que se desempeña un docente o un alumno, se puede ver con claridad la teoría de la complejidad en donde se presenta novedosos cambios y más aún con la llegada de la contingencia, debido a que se obliga a actuar de manera casi imprevista por las restricciones que ahora pone el ambiente en la educación a distancia y en donde tanto los estudiantes como docentes se ven en la necesidad de encontrar maneras de comunicación e interacción desde casa, esto demanda un trabajo mayor en las Instituciones de Educación Media y/o Superior. Como lo comenta González (2009) que la complejidad, “es una forma de analizar, de reflexionar sobre determinados aspectos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, los cuales presentan ciertas características que los clasifican como sistemas de comportamiento complejo” Se dice entonces que se ha llegado al caos, teniendo este vocablo una connotación especial en la teoría que estudia la complejidad, en este ámbito, se puede encontrar la relación entre los desafíos que preponderan en la educación en consecuencia de la pandemia y lo que indican las características de la complejidad.

Cervantes (2020) comenta que el cierre de las escuelas reveló un conjunto de desafíos para las autoridades educativas, el profesorado y las familias, en tanto la ejecución de estas medidas se configura en un entramado de circunstancias educativas, sociales y económicas que, en suma, profundizan la desigualdad educativa, lo cual será confirmado con mayor detalle por medio de la investigación para poder actuar ante ello.

Se están realizando cambios en las escuelas que responden a los cambios filosóficos y metodológicos tanto en las ciencias humanas como en las ciencias naturales. La escuela debe atender las necesidades de la comunidad, de sus alumnos y de la sociedad; para ello, por un lado, ha de conocer esta nueva realidad y, por otro, atender a los estudios para y sobre la escuela que se están potenciando fundamentalmente desde las propuestas de la teoría de la complejidad (Cárdenas y Rivera, 2004)

En opinión a estos autores, se da el partaguas para indicar que la teoría de la complejidad puede ser un medio de búsqueda de una manera de abordar la gestión de proyectos, ante los retos que se presentan y poder enfrentar incluso el devenir en la educación que se encuentra en constante cambio, puesto que como individuos se tiene la capacidad de adaptarse al entorno.

Narváez (2021) indica que la formación si bien ya presentaba algunos retos y obstáculos que se vieron incrementados por la falta de una computadora, internet, porque el estudiantado cambió sus horas clase, por horas-trabajo para ayudar en el gasto familiar y poca presencia en el aula virtual, por lo cual se denota una

importante temática a tratar y que se requiere de estrategias que le permitan al docente motivar y ver de alguna manera como apoyar en este sentido. Esto es un poco de los desafíos a los que hoy día enfrentamos en el ámbito educativo con la contingencia COVID-19, sin embargo hay otros aspectos a considerar dentro de la variable independiente (desafíos), no solo a los retos inesperados sino al entorno innovador y al liderazgo que son clave en esta investigación.

“Esta pandemia nos agarra a todos por sorpresa. Los que tenemos más tiempo trabajando con la educación a distancia logramos hacer una movilización rápida, sin embargo, la cantidad de cosas que teníamos que cambiar representó un gran trabajo”, aseguró el vicerrector Académico y de Innovación Educativa del Tec de Monterrey.

“Como el tsunami noticioso ocasionado por el virus que se disemina cruzando fronteras, el día 14 de marzo circuló a través de redes sociales, grupos de maestros y canales de comunicación institucional —en ese orden— la conferencia de prensa del secretario de educación pública, Esteban Moctezuma Barragán y el subsecretario de salud, Hugo López Gatell, informando la suspensión de actividades educativas presenciales al 23 del mismo mes. La Secretaría de Educación Pública (SEP) dio a las escuelas siete días para responder un “examen extraordinario” que consistía en implementar una estrategia de educación a distancia” (Carmona y Limón, 2020)

Por otro lado cabe señalar al respecto que en educación “las TIC presenciales ya se utilizan como medio para individualizar la formación de los estudiantes y buscar satisfacer las necesidades individuales. Un resultado que en las circunstancias que se presentaron podría mejorar” (Sanz, Sáinz y Capilla, 2020).

Como lo comenta González (2009) estas variaciones que experimentan los sistemas de propiedades complejas pueden llegar a situaciones en que no sean predecibles y que muy pequeñas variaciones en las condiciones iniciales, provocan grandes cambios irregulares, no periódicos, en las propiedades, cantidades o valores del sistema, en este caso en la educación Media y Superior.

Respecto a esto las investigaciones relacionadas con el conocimiento y la aceptación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el proceso educativo, específicamente cuando los profesores las incluyen en su labor docente, van en aumento debido a su acelerada incorporación en la enseñanza; sin embargo, Sánchez y Martínez (2019) señalan que la simple introducción o presencia de las TIC en las instituciones de educación no es suficiente para una mejora en los procesos y resultados del aprendizaje.

En primer lugar tenemos al liderazgo educativo como determinante de nuestra variable independiente, se define como “[...] la labor de movilizar e influenciar a otros para articular y lograr las intenciones y

metas compartidas de la escuela" (Leithwood, 2009, p.20) y se reconoce como la práctica del mejoramiento (Elmore, en Mineduc, 2015). Desde esta perspectiva de "práctica", el liderazgo no es un atributo o característica personal del líder, sino de un conjunto de acciones que, además, se construyen de forma situada. En esta línea, el marco para la buena dirección y liderazgo escolar (MBDLE, 2015), plantea que un liderazgo efectivo presenta variaciones según el contexto y tipo de establecimiento, como también conforme a la etapa de mejoramiento o nivel de desarrollo del establecimiento educacional.

Así mismo, el liderazgo efectivo se caracteriza por ser situacional y contingente, el MBDLE señala que liderazgo escolar se constituye en un conocimiento profesional relevante en el ejercicio de la dirección y liderazgo, y respecto de ello declara que "El conocer las concepciones contemporáneas de liderazgo escolar, permite tener una comprensión no sólo de las prácticas, tipos y características de los líderes escolares sino también de los valores y estrategias necesarios para implementar procesos de mejora escolar diferenciando contexto, nivel de desarrollo de la escuela y contingencia" (Mineduc, 2015, p. 34).

Desde una perspectiva amplia y funcional, tenemos que Leithwood (2009) plantea algunas nociones básicas acerca del liderazgo escolar, que son:

- El liderazgo existe dentro de relaciones sociales y sirve a fines sociales: Si bien los líderes son individuos, el liderazgo se enmarca en relaciones y organizaciones sociales que buscan lograr un fin a nivel colectivo. Es decir, el liderazgo no se personaliza, no es un fenómeno individual.
- El liderazgo implica un propósito y una dirección: Los líderes persiguen metas con claridad y responden por su cumplimiento.
- El liderazgo es un proceso de influencia: Se evidencia tanto en las acciones de los líderes que tienen un efecto directo en las metas del grupo, como en su capacidad para influenciar en los pensamientos y actuar de otras personas, estableciendo condiciones para ser efectivos.
- El liderazgo es una función: El liderazgo conlleva un conjunto de funciones que no necesariamente están vinculadas a una designación formal. Son diversas las personas que pueden ejercer funciones de liderazgo.
- El liderazgo es contextual y contingente, el liderazgo se practica de acuerdo a las particularidades de la organización social, las metas establecidas, las personas involucradas, los recursos y, aún más, las características del propio líder, entre otros factores. Por lo tanto, "(...) ninguna fórmula del liderazgo efectivo es aplicable de manera universal." (Leithwood, 2009, p.19)

Los términos "innovación" e "innovación educativa" aparecen cada vez con más frecuencia en el discurso sobre educación superior, de tal manera que forman ya parte integral de su estructura. Se acepta e incorpora en nuestro bagaje de premisas y supuestos, como si su significado fuera el mismo para todas las personas, grupos y ámbitos del conocimiento relacionados con el tema, ya que el uso que le damos a las palabras en conferencias, presentaciones, publicaciones y pláticas informales, genera la percepción engañosa como panorama general de la innovación educativa de que el término es globalmente aceptado y que una innovación educativa es lo que el "experto" dice, solamente porque él/ella lo dice. Sin embargo, es necesario reflexionar sobre los significados de los términos, ubicándolos en el contexto educativo (Blanco y Messina, 2000).

La tendencia reciente a incorporar la innovación educativa en las instituciones de educación superior de México y América Latina como una categoría, como una estrategia o como un propósito institucional, debe motivarnos a no aceptar acríticamente propuestas elaboradas en otros contextos y culturas, sin antes examinarlas e intentar generar nuestras propias versiones (Blanco y Messina, 2000). Sin embargo, etimológicamente, la palabra innovación proviene del latín *innovatio* que significa "crear algo nuevo". También se usa en el sentido de nuevas propuestas e inventos. Diversos estudios han documentado que la palabra innovación tiene significados diferentes para personas diferentes, por lo que es relevante intentar algunas aproximaciones para hablar el mismo lenguaje y poder comunicarnos sobre el tema (Magda y Buban, 2018).

La definición ligada al desarrollo de habilidades de liderazgo transformacional es la propuesta por Banerjee (2017): "Innovación es la habilidad de superar enfoques normativos con un margen significativo, producir nuevos valores, resultados, paradigmas y transformaciones". Las conductas innovadoras requieren creatividad y receptividad al cambio, aunque la creatividad por sí misma no garantiza la innovación (por ejemplo, un criminal puede ser creativo).

Se puede definir innovación como el proceso de ingresar algo nuevo dentro de una realidad preexistente, para cambiar, transformar o mejorar dicha realidad. Independientemente del concepto específico que usemos de innovación, aparentemente se trata de un proceso de múltiples etapas con el que las organizaciones transforman sus ideas en productos, procesos o servicios, para mejorar la calidad de todo el sistema (Gheh, 2009).

Finalmente la innovación educativa trasladada a la educación superior, es necesario tomar en cuenta la amplitud y profundidad del campo de estudios de la educación (Tierney y Lanford, 2016). En palabras de Shulman (1981) la educación es un campo de estudio,

un lugar que contiene fenómenos, eventos, instituciones, problemas, personas y procesos, que en sí mismos constituyen la materia prima para hacer indagaciones de muchos tipos. Las perspectivas y procedimientos de muchas disciplinas pueden utilizarse para resolver preguntas que surgen de y que son inherentes a la educación como un campo de estudio. Mientras cada una de estas perspectivas disciplinarias se utiliza en el campo de la educación, trae consigo su propio conjunto de conceptos, métodos y procedimientos, a menudo modificándose para adaptarse a los fenómenos y problemas de la educación.

Diversos autores han definido a la innovación educativa desde distintos enfoques. Hay quienes definen innovación con un sentido instrumental, como la introducción de herramientas: "El acto de crear y difundir nuevas herramientas educativas, prácticas instruccionales, organizacionales y tecnológicas" o como la búsqueda de soluciones: "Es la acción permanente realizada mediante la investigación para buscar nuevas soluciones a los problemas planteados en el ámbito educativo", por lo tanto una innovación educativa implica la implementación de un cambio significativo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, de los materiales empleados para el mismo, de los métodos de entrega de las sesiones, de los contenidos o en los contextos que implican la enseñanza (López y Heredia, 2017).

El concepto de innovación implica el cambio, pero mediado por tres condiciones:

1. El cambio debe ser consciente y deseado, por lo que se constituye en el resultado de una voluntad decidida y deliberada.
2. El cambio es producto de un proceso, con fases establecidas y tiempos variables.
3. El cambio no modifica sustancialmente la práctica profesional, esto es, el cambio se da dentro de los límites admisibles por la legislación y el status quo establecido. (Barraza. 2005)

Frente a la situación que se vive actualmente, lo que corresponde es encontrar los efectos y soluciones, tal como hacen referencia las posiciones de la teoría de la complejidad para lo que Guía, J. et al. (2008) dice: "Las teorías de la complejidad en el marco de la causalidad transformativa pueden servir, como base para pasar de un paradigma basado en la dualidad sistema-entorno a un nuevo paradigma fundamentado en los conceptos de identidad-diferencia. En este nuevo paradigma una innovación aparece debido a la necesidad intrínseca que los individuos tienen, individual y colectivamente, de expresar sus identidades y sus diferencias. La identidad y la diferencia emergen, convirtiéndose en lo que son a través de la causa transformativa de la auto organización, es decir, de las

relaciones. La innovación emerge, por tanto, de las relaciones de sus miembros en lugar de ser determinadas por la libertad de elección de los individuos". Tal afirmación puede referirse a una forma distinta de ver la solución que involucre la participación de todo un equipo.

Por su parte, Lino (2006) comenta que "se busca finalmente superar críticamente la independencia, hegemonía, y supremacía de la ciencia con respecto a otras formas de obtención de conocimientos; el establecimiento de las categorías sujeto y objeto del conocimiento como entidades separadas y autónomas; la concepción de la investigación como descubrimiento por el sujeto de las propiedades del mundo, -ocultas como esencias-, pero existentes al margen del sujeto, objetivamente; y la concepción del método, como garante de la confiabilidad de los resultados cognoscitivos. Todo esto supone un cambio en el mundo de los conceptos, y cuestionar esos conceptos maestros con los cuales se piensa y se presiona el mundo". Esto resalta una vez más la posibilidad de encontrar estabilidad a través del pensamiento crítico y su actuación.

Por otro lado, y antes de continuar con los conceptos de nuestra variable dependiente (personal, servicio, gestión escolar y sistemas) resulta clave conceptualizar qué es un proyecto. Para ello, se tomará de referencia aquella definición establecida por la autoridad internacional del PMI (Project Management Institute) en su constructo PMBOK (Project Management Body of Knowledge), 5ª edición. Según él, "un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único".

Aquí, se debe realizar énfasis en su carácter único (corresponde a un conjunto específico de operaciones diseñadas para el logro de una meta específica) y temporal (tiene un comienzo y un fin definido, y por ende, presenta límites y recursos bien definidos). Los orígenes de la gestión de proyectos han presentado varios hitos a lo largo de la historia.

La definición oficial proporcionada por la Asociación para la Gestión de Proyectos (APM, 2013) dice:

La gestión de proyecto se enfoca en controlar la introducción del cambio deseado.

Esto implica:

- Comprender las necesidades de los grupos de interés
 - Planificar qué se necesita hacer, cuándo, por quién y bajo qué estándares
 - Crear y motivar al equipo
 - Coordinar el trabajo de diferentes personas
 - Monitorear el trabajo que se realiza
 - Gestionar cualquier cambio del plan
 - Alcanzar resultados satisfactorios.
- Lerner y Eisik (2017), clasifican las barreras que

quebrantan potencialmente el éxito de un proyecto hoy día:

- “1. Barreras directamente controlables: aquellas sobre las cuales la gestión del proyecto puede ejercer influencia directa (por ejemplo, la comunicación).
2. Barreras sobre las cuales no existe control directo, pero se puede ejercer influencia: aquellas sobre las cuales la gestión del proyecto puede accionar, pero no controlar en su totalidad (por ejemplo, cuestiones relacionadas a la definición del alcance del proyecto).
3. Barreras sobre las que no existe control directo y no se puede ejercer influencia: por ejemplo, factores políticos (¿quién ganará las próximas elecciones?), económicos (tasa de inflación, crecimiento del PBI), sociales (niveles de pobreza, tasa de natalidad y desnutrición), tecnológicos (nivel de adopción de tecnologías de robotización de procesos, velocidad de desarrollo de nuevos desarrollos) etc).”

El Gerente de Proyectos (Project Manager o PM por sus siglas en inglés) desempeña un rol fundamental en todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto. Según el PMI, corresponde a la persona asignada por la organización dedicada a liderar el equipo responsable de lograr los objetivos de un proyecto y cumple un rol técnico, operativo y estratégico requerido para el avance del mismo. Las principales funciones del PM se enumeran a continuación:

- Concentrar y consolidar todo el esfuerzo realizado por el equipo de trabajo y las diferentes unidades organizacionales involucradas.
- Ejercer el liderazgo del equipo del proyecto para alcanzar los objetivos del proyecto y de los grupos de interés. Actuar como nexo estratégico entre los equipos operativos y la Alta Dirección, ejerciendo un rol proactivo.
- Apalancarse en una Oficina de Gestión de Proyectos independiente y robustamente constituida y con un rol de gestión (no sólo administrativo) para contar con información efectiva a efectos de facilitar la toma de decisiones en Comités Ejecutivos/Directivos, donde diversos sponsors deben tomar decisiones.
- Facilitar a todos los colaboradores la visión de los objetivos y el éxito del proyecto, así como también, su dirección hacia la consecución de los mismos. Liderar esfuerzos y brindar soporte a los múltiples equipos de trabajo, oficiando de facilitador.
- Establecer las restricciones del proyecto (tiempo, presupuesto y objetivos de los interesados, teniendo

en consideración los recursos disponibles) y ejecutar los mecanismos necesarios para cumplirlas.

- Predecir las posibles amenazas y oportunidades que puedan surgir, por intermedio de una efectiva gestión de riesgos del proyecto.
- Proveer liderazgo, planificación y coordinación a su equipo de trabajo, mediante una comunicación efectiva, tanto a nivel verbal como no verbal (planes, documentos, cronogramas, etc.).
- Bregar por la constitución de un equipo de aseguramiento de la calidad (QA o Quality Assurance por sus siglas en inglés) que complemente la labor de la PMO.
- Facilitar y apoyar procesos de gestión del cambio durante el desarrollo del proyecto, integrando este fenómeno a lo largo de todo el proyecto.”

Adentrándonos un poco más en lo que es nuestra variable dependiente (gestión de proyectos) en sus dimensiones el personal, servicio, gestión escolar y sistemas, tenemos que la gestión escolar en los establecimientos educativos, es un proceso sistemático que está orientado al fortalecimiento de las instituciones educativas y a sus proyectos, con el fin de enriquecer los procesos pedagógicos, directivos, comunitarios y administrativos; que esto va acorde de nuestras demás dimensiones de nuestra variable.

Así mismo la gestión escolar está constituida por cuatro áreas de gestión: área de gestión directiva, área de gestión pedagógica y académica, área de gestión de la comunidad y área de gestión administrativa y financiera. Por esto mismo es importante mencionar la importancia que tiene la gestión escolar para el mejoramiento de la calidad en un país, radicando en el fortalecimiento de las secretarías de educación y de los establecimientos educativos; en sus instancias administrativas y sistema pedagógico, para generar cambios y aportar un valor agregado en conocimientos y desarrollo de competencias a los estudiantes.

Sin embargo la pandemia de hoy día fue un desafío a enfrentar para todo el ámbito educativo, por ejemplo los cierres de escuelas provocados por el coronavirus afectaron desproporcionadamente a los niños y las niñas, porque no todos tuvieron las oportunidades, las herramientas o el acceso necesarios para seguir aprendiendo durante la pandemia. Para millones de estudiantes, el cierre de escuelas no será una interrupción temporal de su educación, sino un final abrupto de la misma. Por ende la educación debería estar en el centro de los planes de recuperación de todos los gobiernos, para que la educación sea gratuita y accesible a todos los niños y las niñas del mundo.

Por otro lado tenemos que, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) ha planteado

que, incluso antes de enfrentar la pandemia, la situación social en la región se estaba deteriorando, debido al aumento de los índices de pobreza y de pobreza extrema, la persistencia de las desigualdades y un creciente descontento social.

En este contexto, la crisis tendrá importantes efectos negativos en los distintos sectores sociales, incluidos particularmente la salud y la educación, así como en el empleo y la evolución de la pobreza. Por su parte, la UNESCO ha identificado grandes brechas en los resultados educativos, que se relacionan con una desigual distribución de los docentes, en general y de los mejor calificados, en particular, en países y regiones con menores ingresos y de zonas rurales, las que suelen concentrar además a población indígena y migrante.

En el ámbito educativo, gran parte de las medidas que los países de la región han adoptado ante la crisis se relacionan con la suspensión de las clases presenciales en todos los niveles, lo que ha dado origen a tres campos de acción principales: el despliegue de modalidades de aprendizaje a distancia, mediante la utilización de una diversidad de formatos y plataformas (con o sin uso de tecnología); el apoyo y la movilización del personal y las comunidades educativas, y la atención a la salud y el bienestar integral de las y los estudiantes.

Para el estudio de lo anterior también es necesario tener en cuenta los efectos de tomar como referencia la teoría de la complejidad que ayude a descifrar los problemas y encontrar alternativas de cambio, como lo comenta Gallegos (2016) que el ámbito académico ha sido testigo de un notable crecimiento de la literatura relacionada con la temática de la complejidad. La noción de complejidad se ha transformado en una categoría teóricamente dominante. Por lo que en esta situación, abordar este concepto no puede pasar desapercibido, pues es precisamente la complejidad que la gestión estratégica de las instituciones en estos tiempos presenta, aunada a la especialización que requieren las actividades y la dificultad del medio ambiente, por lo que resulta interesante y necesario encontrar los factores involucrado en medio de la complejidad para poder dar una respuesta pronta y sólida.

Método

La metodología a emplear para esta investigación fue de tipo cuantitativa, con un diseño transaccional y un alcance correlacional, la variable independiente son los desafíos en sus dimensiones (entorno innovador, retos inesperados, liderazgo) y la variable dependiente gestión de proyectos con sus dimensiones (producto, proceso, personal, sistemas).

El diseño de nuestra investigación fue aleatorio, se sacó nuestra muestra para aplicar encuestas con nivel

de confianza y margen de error, la población total de Felipe Carrillo Puerto es de 1491 docentes.

Tabla 1. Sistema educativo de Quintana Roo

Municipio	Alumnos	Docentes
Bacalar	13,086	648
Benito Juárez	196, 081	11,233
Felipe Carrillo Puerto	30,303	1491

Fuente: Secretaría de Educación Pública (2017)

La muestra resultante fue de 66 encuestas a aplicar, con una heterogeneidad del 50%, un margen de error del 10% y un 90% de nivel de confianza en el Municipio Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo. Se realizó una prueba piloto al instrumento y posteriormente se aplicaron las 66 globales para la investigación, para la base de datos y el vaciado de las respuestas se utilizó el programa SPSS. Se diseñó un análisis estadístico correlacional, se utilizó la herramienta SPSS para dichos análisis, se sacaron gráficas y a partir de ellas los porcentajes correspondientes a las preguntas clave de nuestro cuestionario. Teniendo así respuesta al objetivo planteado de esta investigación.

Resultados

A continuación se muestra el perfil de los encuestados en donde se observa que el 87.88% está representado por docentes como a continuación se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Puesto de los encuestados

Puesto	Porcentajes
Docente	87.88%
Administrativo	4.55%
Jefatura	3.03%
Subdirectora	3.03%
Directora	1.51%

Fuente: elaboración propia

En lo que respecta al género, en los encuestados el 50% fueron de sexo femenino como masculino, como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Género

Género	Porcentaje
Femenino	50%
Masculino	50%

Fuente: elaboración propia

En lo que respecta a la edad de los encuestados el 34.84% su edad está entre los 36 a 45 años de edad como se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4. Edad

Rango de edad	Porcentaje
25 a 35	30.30%
36 a 45	34.84%
46 a 55	30.34%
56 a 65	4.54%

Fuente: elaboración propia

El 46.97% de los docentes encuestados tienen un grado de estudios de licenciatura y el 45.45% tienen grado de maestría y solo el 7.58% cuentan con un doctorado como se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5. Escolaridad

Grado de escolaridad	Porcentaje
Licenciatura	46.97%
Maestría	45.45%
Doctorado	7.58%

Fuente: elaboración propia

En cuanto a la antigüedad de los docentes encuestados el 60.61% tiene por lo menos de 1 a 10 años laborando dentro de la institución, el 21.21% cuenta con al menos de 11 a 20 años como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Tiempo laborando en su institución

Antigüedad	Porcentaje
1 a 10	60.61%
11 a 20	21.21%
21 a 30	18.18%

Fuente: elaboración propia

En los niveles educativos en los que se encuentran impartiendo clases los docentes son en un 50% a nivel universidad y el 48.48% en preparatoria y solo el 1.52% imparte en ambos niveles como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Nivel al que imparte clases

Niveles educativos	Porcentaje
Preparatoria	48.48%
Universidad	50%
Ambos	1.52%

Fuente: elaboración propia

En cuanto a los principales desafíos que enfrentan los docentes de Felipe Carrillo Puerto de Quinta Roo encontramos que en primer lugar, se encuentran los retos inesperados (forma de impartir clases, manera de relacionarse con los alumnos) con un 75% en las respuestas de casi siempre y siempre. En segundo lugar, se encuentra la dimensión del liderazgo (motivación a los alumnos) con un 69% en las respuestas de casi siempre y siempre y en tercer lugar, la dimensión del entorno innovador (cambios en el plan de trabajo) con un 39% en las respuestas de casi siempre y siempre como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Desafíos que enfrentan los docentes en Felipe Carrillo Puerto

Variable	Porcentaje
Retos inesperados	75%
Liderazgo	69%
Entorno innovador	39%

Fuente: elaboración propia

En lo que respecta a la gestión escolar respecto a la administración escolar, los docentes de las escuelas de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, en sus dimensiones el orden que asignaron en cuanto al nivel de importancia fue el siguiente: En primer lugar, con un empate se encuentran el personal y sistemas con un 90% ambos en la respuesta de muy importante e importante, En segundo lugar, la dimensión de gestión escolar, con un 88% en la respuesta de muy importante e importante y finalmente en tercer lugar, se encuentra la dimensión servicio, con un 87% en la respuesta de muy importante e importante.

Tabla 9. Importancia de las variables de gestión escolar en la administración escolar

Variable	Porcentaje
Personal	90%
Sistemas	90%
Gestión escolar	88%
Servicio	87%

Fuente: elaboración propia

Al hacer un cruce de variables entre la importancia que tiene el entorno innovador (cambios en el plan de impartir clases, asesoramiento, etc.) en las dimensiones de la variable gestión de proyectos (administración escolar) como se observa en la tabla 10:

En primer lugar, el personal en un 90% con totalmente y mucho.

En segundo lugar, los sistemas 85% con totalmente y mucho.

En tercer lugar, la gestión escolar, 79% con totalmente y mucho.

En cuarto lugar, el servicio en un 78% con totalmente y mucho.

Tabla 10. Importancia del entorno innovador en las dimensiones de la variable de gestión de proyectos

Variable	Porcentaje
Personal	90%
Sistemas	85%
Gestión escolar	79%
Servicio	78%

Fuente: elaboración propia

Al hacer un cruce de variables entre la importancia que tienen los retos inesperados (forma presencial a virtual, etc.) en las dimensiones de la variable gestión de proyectos se encontró en primer lugar, el personal, 91% con totalmente y mucho, en segundo lugar, los sistemas 83% con totalmente y mucho, en tercer lugar, el servicio 81% con totalmente y mucho y finalmente en cuarto lugar, la gestión escolar 79% con totalmente y mucho como se observa en la tabla 11.

Tabla 11. Importancia de los retos inesperados en las dimensiones de la variable de gestión de proyectos

Variable	Porcentaje
Personal	91%
Sistemas	83%
Servicio	81%
Gestión escolar	79%

Fuente: elaboración propia

Al hacer un cruce de variables entre la importancia que tienen los retos de liderazgo (motivación) en las dimensiones de la variable gestión de proyectos se encontró en primer lugar, el personal 88% con totalmente y mucho, en segundo lugar, los sistemas 82% con totalmente y mucho, en tercer lugar, el servicio 78% con totalmente y mucho y en cuarto lugar, gestión escolar 73% con totalmente y mucho.

Tabla 12. Importancia de los retos de liderazgo en las dimensiones de las variables de gestión de proyectos

Variable	Porcentaje
Personal	88%
Sistemas	82%
Servicio	78%
Gestión escolar	73%

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

La mayoría de los autores de literatura de gestión de proyecto concuerdan en que la gestión de proyecto se trata de establecer y, después, alcanzar (o superar) objetivos de tiempo, costo y desempeño (calidad). Progresivamente, los autores incluyen la variable de seguridad, que cobra más y más importancia como resultado del aumento de disposiciones estatutarias sobre salud y seguridad. Algunos autores también incluyen la variable de riesgo, pues la necesidad económica conduce, cada vez más, a los proyectos hacia estados de riesgo más y más altos, en este caso la gestión de un proyecto es necesaria para dar respuesta a la teoría de la complejidad en donde a través de esta teoría se pudo observar con claridad los desafíos que enfrentan los docentes donde el 50% fueron de instituciones de Media Superior y el 50% de nivel Superior en Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, derivados de la contingencia COVID-19 concatenado a la complejidad del contexto y que permite a su vez encontrar cómo a través de la adecuada gestión se puede manejar ese caos, mostrando que desafíos formas de administrar se puede mejorar en ellas.

Finalmente puede concluir que el principal desafío que enfrentan los docentes de esta región frente al periodo pandémico en primer lugar con un 75% se encuentran los retos inesperados los cuales que tiene que ver con la forma de impartir clases y la manera de relacionarse con los alumnos, dando claridad a la imperiosa necesidad de modificar en este sentido la forma tradicional de impartir un curso, a la utilización de tecnologías de la información y que para ello los docentes deben estar capacitados en este tema y con ello lograr una adecuada planeación de sus clases, así mismo se requiere de un establecimiento de una comunicación asertiva y bidireccional en donde los docentes puedan retroalimentar a sus estudiantes sobre su desenvolvimiento en el transcurso de los cursos impartidos.

El segundo desafío que deben enfrentar los docentes con un 69% es el liderazgo en relación a encontrar una adecuada motivación para con sus estudiantes en esa modalidad virtual tarea que para nada es sencilla ya

que en muchos de los casos deben tener presente el cambio generacional de los mismos para saber de qué manera lograr motivar a cada estudiante y lograr hacer esa empatía con sus grupos en donde pueda mantener a sus grupos interesados en sus cursos.

El tercer desafío es desarrollar un entorno innovador en un 39% lo cual implica realizar cambios en el plan de trabajo a como se venía realizando anteriormente cuando las clases eran presenciales a una planeación donde el docente pueda desarrollar estrategias de enseñanza aprendizaje en base a las competencias pero considerando tanto el ambiente externo como el interno, estrategias de evaluación, evidencias e desempeño y rubricas con la intención de dejar claridad en las actividades que se planean.

la variable independiente son los desafíos en sus dimensiones (entorno innovador, retos inesperados, liderazgo) y la variable dependiente gestión de proyectos con sus dimensiones (producto, proceso, personal, sistemas).

En lo que respecta a la variable dependiente que fue la gestión de proyectos, en sus dimensiones (producto, proceso, personal, sistemas) para poder enfrentar los retos, principalmente deben trabajar con el personal y sus sistemas con un 90% en ambos, ya que los docentes de Felipe Carrillo Puerto colocan en totalmente importante al personal, por lo que será necesario priorizar en medio de la contingencia y en momentos futuros por la adversidades que se pudieran presentar y que se traducen como las dificultades al accionar tal como lo indica la teoría de la complejidad, para lo que es en estas condiciones algo inevitable y que avasalla ante la presencia de lo imprevisto, por lo cual se recomienda prestar atención al factor humano principalmente para salir adelante en todo momento y cada IEMS y Superior realizar sus propias estrategias para lograr impactar a corto, mediano y largo plazo en sus instituciones para lograr mantener la calidad en todo momento a pesar de los retos.

Referencias

Arias-Pineda, A.A. y Ramirez-Martinez, L. (2019). La organización-empresa: ¿un sistema vivo? Aportes de la teoría de la complejidad y la filosofía ambiental a la teoría administrativa y organizacional. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (86), 133-150. DOI: <https://doi.org/10.21158/01208160.n86.2019.2298>.

Barberousse, P. (2008). Fundamentos Teóricos Del Pensamiento Complejo De Edgar Morin. *Revista Electrónica Educare*, XII(2), 95-113. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194114586009>

Barraza Macías, A. Una conceptualización comprehensiva de la innovación educativa. *Innovación Educativa*, 5(28), 19-31. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1794/179421470003.pdf>.

Blanco, R., y Messina, G. (2000). Estado del arte sobre las innovaciones educativas en América Latina. Colombia: Convenio Andrés Bello, UNESCO.

Cárdenas, M. y Rivera, J. (2004) La teoría de la complejidad y su influencia en la escuela. *Revista de Teoría y Didáctica de las Ciencias Sociales*, (9), 131-141. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/652/65200908.pdf>

Carmona I y Limón C. (ABRIL 22, 2020). "Los maestros frente al Covid-19". Disponible en: <https://educacion.nexos.com.mx/los-maestros-frente-al-covid-19/>

Cervantes, E (2020, 02 mayo) Resistir la Covid-19. Intersecciones en la Educación de Ciudad Juárez, México. Disponible en: <http://cathi.uacj.mx/handle/20.500.11961/11665>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, agosto 2018). La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45904-la-educacion-tiempos-la-pandemia-covid-19>

Darchibald, R. (1989). Project management education and training in the USA. *International Journal of Project Management*. 7 (4). 199-200. DOI: [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(89\)90003-3](https://doi.org/10.1016/0263-7863(89)90003-3)

División Educación General. LIDERAZGO ESCOLAR: Reconociendo los tipos de liderazgo. Disponible en: https://liderazgoescolar.mineduc.cl/wp-content/uploads/sites/55/2019/05/HERRAMIENTA2_final.pdf

Ferrás, X. (2010). *Innovación 6.0: el fin de la estrategia*. Barcelona: Plataforma Editorial.

Gallegos, M. (2016) Una cartografía de las ideas de la complejidad en América Latina: la difusión de Edgar Morin. *Revista de Estudios Latinoamericanos*, 63, 93-128. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1665857416300266>

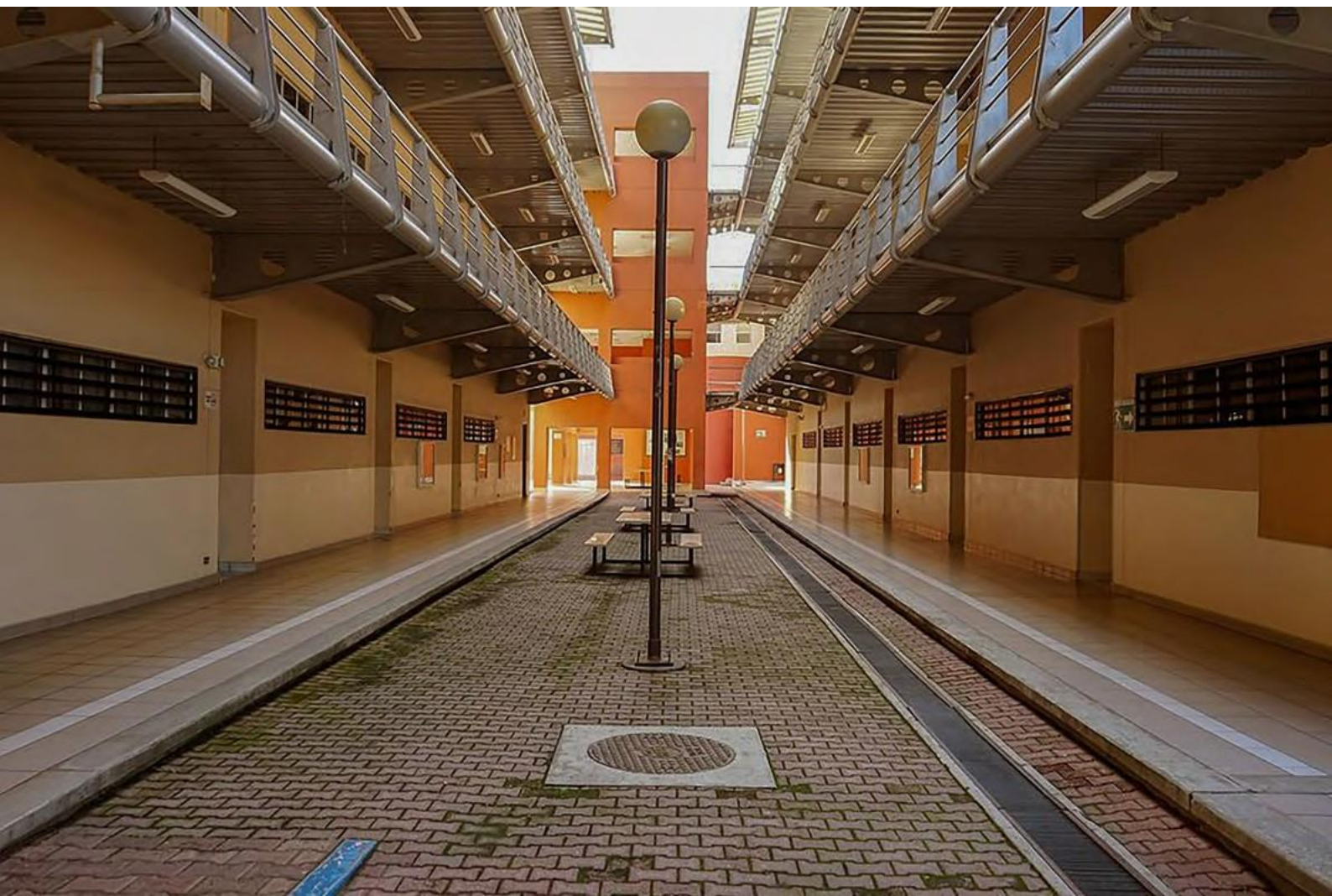
González, J. (2009). La teoría de la complejidad. *Dyna*, 76(157), 243-245. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49611942024>

Guía, J., Prats, L. y Comas, J. (2009). Innovación como cambio institucional: una aproximación desde las teorías de la complejidad. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 15, (2), 93-104. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1135252312600914>

Leithwood, K. (2009) ¿Cómo liderar nuestras escuelas? Aportes desde la Investigación. Santiago Universidad de Chile: Fundación Chile.

Lerner A. y Eisik M. (2017). Gestión de proyectos: desafíos y recomendaciones prácticas para su aplicación en las organizaciones. Checkpoint. 1-9. [Fecha de Consulta 26 de Julio de 2021]. Disponible en: <https://www.eco>

- nomicas.unsa.edu.ar/afinan/afe_1/material_de_estudio/material/Gestion%20de%20proyectos%20desafios%20y%20recomendaciones%20practicas%20para%20su%20aplicacion%20en%20las%20organizaciones.pdf
- Lino, M. (2006). De la teoría de la complejidad a la filosofía intercultural: hacia un nuevo saber. *Revista de Filosofía* 24 (52), 65-82. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-11712006000100004
- Magda, A. J., y Buban, J. (2018). *The state of innovation in higher education: A survey of academic administrators*. Louisville, KY: The Learning House, Inc. Recuperado de: <https://onlinelearningconsortium.org/read/state-of-innovation-in-higher-education/>
- Mejia, O. (junio, 2020). El retorno al trabajo después del COVID-19. [Forbes]. Recuperado 19 de agosto de 2020, de <https://www.forbes.com.mx/el-retorno-al-trabajo-despues-del-covid-19>
- Narváez, C. (marzo, 2021). Los retos como responsable del Programa Emprendedor en el Centro Universitario UAEM Valle de Teotihuacán frente al Covid-19. Recuperado 24 de junio de 2021 de http://web.uaemex.mx/identidad/docs/cronicas/2021/TOMO_XIX/19.%20Los%20retos%20como%20responsable%20del%20Programa%20Emprendedor%20en%20el%20CU%20Teotihuacan.pdf
- Parra, M. (2014). *EMPRENDER en tiempos de crisis*. Recuperado 24 de junio de 2021 de <https://www.observatorioeconomico.cl/index.php/oe/article/view/130/133>
- Samperio-Pacheco, V. M. y Barragán-López, J. F. (2018). Análisis de la percepción de docentes, usuarios de una plataforma educativa a través de los modelos tpack, samr y tam3 en una institución de educación superior. *Revista de innovación educativa*, 10(1): 116-131. <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view/1162/859>.
- Sánchez M. y Escamilla J. (2018). Perspectivas de la innovación educativa en universidades de México: Experiencias y reflexiones de la RIE 360. Recuperado de: <https://cuaieed.unam.mx/descargas/investigacion/Perspectivas-de-la-innovacion-educativa-en-universidades-de-Mexico.pdf>
- Sánchez, M. y Martínez, A. (Eds.). (2019). *Formación Docente en la UNAM: Antecedentes y la Voz de su Profesorado*. Coordinación de Desarrollo Educativo e Innovación Curricular, UNAM.
- Sancho, J y Cano, C (comps.) (2012). *La fugacidad de las políticas, la inercia de las prácticas: la educación y las tecnologías de la información y la comunicación*. Barcelona: Ediciones Octaedro, SL.
- Sanz, I., Sáinz González, J., y Capilla, A. (2020). Efectos de la Crisis del Coronavirus en la Educación Superior. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (oei). <https://oei.org.br/arquivos/informe-covid-19d.pdf>.
- Servín A y Ortega P. (30 de junio de 2020). Los retos que enfrenta la educación ante la pandemia. Recuperado de: <https://www.economista.com.mx/gestion/Los-retos-que-enfrenta-la-educacion-ante-la-pandemia-20200630-0039.html>
- Terribili, A., Bortoleto, A. C., y Bentancor, A. L. (2015). Gestión de proyectos de innovación en las instituciones educativas privadas en San Pablo. *REXE. Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 14(27), 85-103. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=243143345006>
- Tintoré, M. (2018). Líderes educativos y justicia social. Un estudio comparativo. *Perspectiva educacional*. 57 (2). Disponible en: http://www.perspectivaeducacional.cl/public/journals/1/articulos_prensa/n57_2/736.pdf
- Valenzuela, P. y Horn, A. (2012). Influencia del liderazgo directivo en los resultados de los estudiantes. En J. Weinstein y G. Muñoz (Eds.), *¿Qué sabemos de los directores de Escuela en Chile?* (pp.325- 348). CEPPE, Centro de Innovación en Educación Fundación Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/File/CR_Articulos/Directores_de_Chile_INTRODUCCION.pdf
- Wallace, W. (2014). *Gestión de proyectos*. Edinburgh, Business School. 17-19. [Fecha de Consulta 26 de Julio de 2021]. Disponible en: <https://ebs.online.hw.ac.uk/documents/course-tasters/spanish/pdf/pr-bk-taster.pdf>



La Educación en México como un Sistema Complejo

Hilda Beatriz Ramirez Moreno

Profesor Investigador de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Baja California, México
ramirezmb@uabc.edu.mx
0000-0003-4816-8382

Nora Osuna-Millán

Profesor Investigador de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Baja California, México
nora.osuna@uabc.edu.mx
0000-0001-5719-7682

Jesús Manuel Niebla Zatarain

Profesor Investigador de la Facultad de Derecho, en la Universidad Autónoma de Sinaloa, México
j.niebla@uas.edu.mx

Recepción: 24/09/2021

Aceptación: 29/10/2021

Resumen

El presente trabajo permite visualizar la obligatoriedad de la educación básica y media superior, la manera en que está organizado el sistema educativo en México, así también se destacan los principales actores que participan en los procesos de enseñanza aprendizaje, la diversidad en las relaciones que determinan a la Educación como un sistema complejo, por lo que es necesario atender o aplicar los principios básicos de la complejidad, lo cual permitirá transformar el proceso Educativo, por medio del pensamiento sistémico, basado en la relación de los elementos principales, atendiendo la comunicación y retroalimentación, todo ello basados en la conciencia, adaptación, autoorganización, de los involucrados entre ellos las instituciones, profesores, alumnos, organizaciones privadas y sin fines de lucro, la secretaría de educación pública, el poder legislativo representado por la cámara de diputados los cuales actúan como gestores de recursos para establecer el mejor clima para desarrollar un Sistema Educativo de calidad que responda a las necesidades del entorno.

Palabras clave: Educación, sistema complejo, conciencia,

Abstract

This work allows to visualize the compulsory nature of basic and upper secondary education, the way in which the educational system in Mexico is organized, as well as the main actors that participate in the teaching-learning processes, the diversity in the relationships that determine to Education as a complex system, so it is necessary to

attend or apply the basic principles of complexity, which will allow to transform the Educational process, through systemic thinking, based on the relationship of the main elements, attending to communication and feedback, all based on the awareness, adaptation, self-organization, of those involved, including institutions, teachers, students, private and non-profit organizations, the public education secretariat, the legislative branch represented by the chamber of deputies which act as resource managers to establish the best climate for development roll out a quality Educational System that responds to the needs of the environment.

Keywords: Education, complex system, consience.

Introducción

1.1 Educación Obligatoria en México

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) en su artículo 3o indica el derecho de todos a la educación. donde los 31 estados, Ciudad de México y Municipios- deben dictar y proveer la educación impartirán y garantizarán la educación inicial, pre-escolar, primaria, secundaria, media superior y superior (todos los niveles). La educación educación básica y la media superior serán obligatorias, la educación superior se promoverán los medios de acceso por las instituciones públicas, Cámara de diputados. (2021).

La figura 1 nos muestra cómo se clasifican los niveles educativos en México, para proporcionar el servicio a la sociedad y dar cumplimiento a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 3ro.

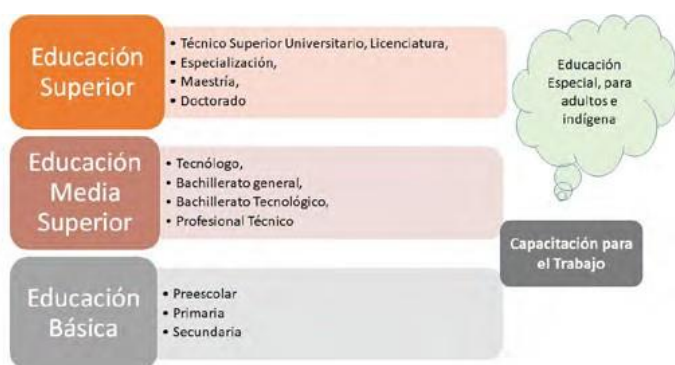


Figura 1. Estructura de la Educación en México

La Educación en México, según la Secretaría de Educación Pública (2019) debe considerar la Educación especial, la Educación Indígena ya que una de las características más sobresalientes de nuestro país es la diversidad cultural la cual está compuesta por diversas etnias por lo tanto es indispensable su consideración, la Educación para adultos mayores promueve la adquisición

de competencias académicas básicas las cuales certificarán su experiencia informal y permitirán una mejor inserción en el mercado laboral.

1.2 Sistema Educativo Nacional

Se conoce al Sistema Educativo Nacional según el artículo 31 de la Ley General de Educación, Cámara de Diputados (2019) como el conjunto de grupos de interés, instituciones y procesos que están relacionados en la tarea proporcionar y recibir el servicio relacionado con la educación, a la que está obligada el gobierno, donde se incluye desde la educación Primaria hasta la Educación superior. Aquí se involucran estructuras, Instituciones, profesores, relaciones, familias, sociedad mexicana en general; los cuales forman parte del todo que permite lograr los objetivos que cada nivel educativo persigue.

El Sistema Educativo funciona por medio de la interacción entre los principales elementos que lo componen, los impulsores que se dan entre ellos y el entorno permite que la adaptación a situaciones que emergen se atenúen, ver la Figura 2.

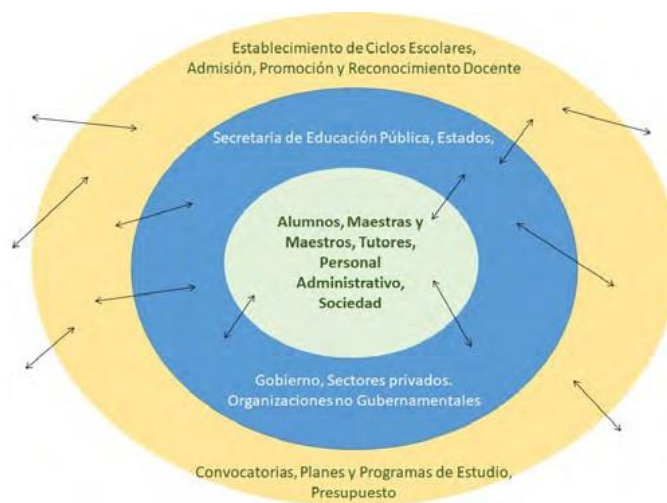


Figura 2. Sistema Educativo Nacional en México

1.3 Educación y complejidad

La educación se considera un sistema complejo por el número de relaciones que los actores participantes generan; al considerarse esta como un sistema complejo permitirá crear escenarios cercanos a la realidad del estudiante y del docente, lo que permitirá estrategias que proporcionen mejoras en este sector, Serghie (2015).

Los sistemas complejos principalmente se caracterizan por desarrollar dinámicas irrepetibles, sin un periodo establecido, con apariciones repentinas, además de otras características, y según Maldonado, C. E. (2014) estos son los rasgos básicos de la complejidad.

Los sistemas complejos pueden distinguirse por el comportamiento de los actores y las relaciones entre ellos, el cual resulta ser de manera dinámica, por medio de la emergencia de actuaciones dispersas.

Perspectiva de aspecto sistémico de la complejidad
Sistemas

Para entender que es un sistema complejo nos remontamos a los inicios de la Teoría General de Sistemas (TGS) donde surge gracias a los trabajos del alemán Ludwig Von Bertalanffy (Goncalves, 2011) que se percató de la necesidad de conceptos unificadores en las ciencias sociales y naturales. La teoría general de sistemas (TGS) se aplica a todas las ciencias y ha servido de base para la integración del conocimiento científico, esta teoría busca las propiedades en común de sus componentes así como la integración de todas sus partes para lograr su objetivo. La TGS se fundamenta en 3 premisas básicas (Hurtado, 2008):

1. Los sistemas existen dentro de sistemas
2. Los sistemas son abiertos.
3. Las funciones de un sistema dependen de su estructura.

Hay una gran variedad de conceptos de sistemas pero todas tienen en común sus elementos o partes en interacción para lograr un objetivo o meta o como lo define Vasquez, 2012, donde define que un sistema está conformado por un conjunto de objetos o componentes que interactúan entre sí para el logro de objetivos bajo un entorno.



Figura 3. Concepto de sistema

En la actualidad la palabra sistema se utiliza en todas las ciencias porque implica unión, integridad, totalidad y partes en relación para lograr un mejor funcionamiento que de manera individual no lo podría alcanzar, algunos ejemplos de la diversidad de sistemas son:

sistema fotográfico, sistema solar, sistema educativo, sistema de transporte, sistema judicial, como podemos observar la gran variedad de sistemas en la actualidad es muy diversa. Un sistema tiene la capacidad de que toda acción que produce influye en las otras partes y esto afecta el logro de su meta así como el entorno que rodea al sistema surgiendo el concepto de Sistema Complejo.

Sistema Complejo

El estudiar un sistema complejo va más a fondo que la integración de sus componentes generando una sinergia para lograr un mejor desarrollo y funcionamiento (EPG, 2021), como se muestra en la figura 4. Para entender el comportamiento del sistema complejo debemos de partir que sus componentes actúan de manera individual pero sus acciones influyen en los demás componentes y en el desarrollo del sistema para adaptarse y cumplir con su objetivo. Algunos ejemplos de sistemas complejos son las hormigas, el cerebro, la conciencia.



Figura42. Sistema Complejo

La conciencia es un sistema complejo, todos sabemos dónde está el cerebro pero donde se encuentra la conciencia, que órgano es, que forma tiene, cómo se fundamenta, esas son las preguntas por contestar.

Educar la Conciencia

Uno de los sistemas complejos con mayor inquietud es la conciencia a través de la educación. Gran parte de nuestro desarrollo lo realizamos en nuestra vida estudiantil, en los primeros años en la educación básica o hasta llegar a la educación superior o algún posgrado. Todo este tiempo contribuye al desarrollo de nuestra conciencia que es solo un elemento o componente de todo lo que integra la conciencia. Pero qué es la conciencia? La conciencia es la capacidad propia de los seres humanos de reconocerse a sí mismos, de tener conocimiento y percepción de su propia existencia y de su entorno. La conciencia está relacionada con la acti-

vidad mental que implica un dominio por parte del propio individuo sobre sus sentidos (Significados 2021). La conciencia permite reunir lo vivido, lo que está pasando y lo que deseas entre otras cosas. Por ejemplo el respirar lo hacemos desde que nacemos, y no pensamos en estar respirando, pero nos hacemos conscientes cuando un cantante, un deportista o nosotros practicamos yoga utilizamos la respiración controlada, diafragmática o simplemente el control de cómo y cuándo respirar somos ya conscientes.

En el ámbito educativo la conciencia no regula el aprendizaje, la forma en la que usamos el proceso de enseñanza-aprendizaje, sino que la conciencia convierte lo aprendido en una narrativa que se usa en el concepto social de manera que en pocas palabras platicamos y compartimos lo que sabemos sin necesariamente estar enseñando (Davis, 2004).

Los enfoques de la conciencia (Capra, 2002; Davis, Sumara y Luce-Kapler, 2000; Thompson, 2001; Varela, Thompson y Rosch, 1991) representan una comprensión neurofenomenológica de la conciencia, expresan como la experiencia de lectura literaria influye en el desarrollo del yo y del yo comprensión.

- 1) **La conciencia es un proceso:** *La conciencia surge como resultado de complejas interacciones neurofisiológicas que ocurre en el cerebro al mismo tiempo que reconoce que no se pueden explicar, es simplemente un producto de esas interacciones (Edelman, 1992, 2004; Damasio, 1994, 1999; Stewart y Cohen, 1997; Capra, 2002).*
- 2) **La conciencia está en todas partes y en ninguna parte:** *La conciencia se experimenta como unificada y coherente, es un proceso global que involucra las actividades interpenetrantes de poblaciones neuronales distribuidas por todo el cerebro (Edelman, 2004).*
- 3) **La conciencia es un fenómeno emergente:** *Conciencia no surge del funcionamiento independiente y aislado de los individuos, sino que es un proceso elaborado que evoluciona a medida que el yo consciente y el "Otros" se entrelazan y se despliegan en una compleja coreografía de co-determinación.*

Conciencia, lectura y educación

La lectura ofrece el desarrollo de la autoconciencia de sus propias mentes, los lectores necesitan tomar conciencia de sus propias prácticas de lectura de mentes, cuando toman conciencia de los personajes.

Educación y Lecturas

- Utilizar lecturas profundas en lugar de lecturas superficiales en el salón de clases, los estudiantes pueden utilizar estas lecturas para cuestio-

nar sus propias creencias.

- Utilizar diferentes géneros como el hipertexto apoyan el desarrollo de la autoconciencia.
- Los lectores necesitan conectar con el texto con sus propios recuerdos e imaginaciones, al hacerlo, crean nuevos niveles de autoconciencia.
- El acceso a grandes cantidades de información no garantiza que la comprensión ocurra.

Complejidad y proceso de Aprendizaje

Estrada G. A. (2020) presenta siete principios que pretenden establecer una línea base de consenso de diversas teorías, tendencias, enfoques; al mismo tiempo que permita generar un aprendizaje más sólido en los estudiantes en cuanto a: conocimiento habilidades, aptitudes, valores, etc lo cual propiciará un mejor desarrollo e inserción en la vida profesional y personal del estudiante.

El primer principio es el sistémico que nos permite tratar un todo que funciona a través de la interrelación y la comunicación de las partes que lo componen, sin tratar las partes de manera aislada, por lo que el proceso de enseñanza no es solo responsabilidad del profesor y el estudiante, sino de todo el sistema educativo, donde una parte gestiona los recursos, otra se actualiza y genera el ambiente, estrategias para que la adquisición de conocimiento perdure y otros actores se aseguran de acumular y procesar el conocimiento.

El principio hologramático nos habla de la manera requiere estimular una forma diferente de concebir o visualizar la realidad, por lo que es necesario el análisis de diversos escenarios educativos, los cuales permitan revisar sus interacciones, lo cual da lugar a un sistema complejo.

Principio de retroalimentación, aquí Morin (1994, p. 99) destaca que la causa actúa sobre el efecto y el efecto sobre la causa, estableciendo así un ciclo de relación.

El Principio recursivo permite una relación de causa y efecto, donde puede orientar al sistema educativo para que sus actores generen un efecto de mejora continua que permita cambios en los métodos de enseñanza y genere un plan de estudios que atienda las competencias diversas de los futuros profesionistas.

Principio de autonomía/dependencia, el cual muestra la manera en que el ser humano lucha por ser independiente, pero no corta sus relaciones con la sociedad, así, el docente intenta generar un conocimiento técnico o disciplinario del tema que lo ocupa, pero no puede dejar de largo las habilidades interpersonales (soft skills) que deben acompañar el proceso de aprendizaje

Principio dialógico, este principio es por medio del cual las partes establecen diálogo con el todo, así destaca su oposición a la abstracción y la disyunción, las cuales favorecen el aislamiento de los objetos de estu-

dio y las relaciones del entorno. Por lo que este principio favorece la relación entre los actores del sistema educativo, así como su transformación y evolución.

Principio del que conoce en todo conocimiento, Este principio trata sobre que el conocimiento es una reconstrucción /traducción en un periodo establecido, de acuerdo a una cultura, idioma o lenguaje. el cual realiza una persona. En el proceso de enseñanza, podemos deducir que de acuerdo a cada grupo específico, generación, región, etc. por lo que las técnicas y modelos de aprendizaje deberían de ser diferentes, esto podría lograrse por medio de la introducción y combinación de diversas disciplinas, lo cual enriquecería la educación al acumular diferentes perspectivas.

Conclusión

La Educación es un derecho constitucional que permite el crecimiento económico de la región, pero en la actualidad se enfrenta a los cambios inherentes de la evolución. El sistema educativo es el resultado de la interacción de múltiples elementos que generan una sinergia para lograr un mejor funcionamiento y así cumplir con sus objetivos. La complejidad en la educación se presenta a partir que sus elementos actúan de manera individual como:

estudiantes, maestros, personal y procesos administrativos, infraestructura, tecnologías de información, procesos de enseñanza aprendizaje, y políticas públicas por mencionar algunas pero sus acciones afectan a los demás componentes del sistema. Por lo tanto las instituciones educativas, se deben involucrar a los cambios de la evolución con las directrices internacionales hacia modelos innovadores de calidad y excelencia.

La complejidad se da en la conciencia, al surgir de las relaciones entre la memoria, imaginación y percepción, como un todo donde la educación puede nutrir en el contexto del aula. Al tratarse al proceso de enseñanza aprendizaje como un sistema complejo es imprescindible que los actores de este sistema respondan a los efectos que se reciben del entorno.

Las situaciones emergentes derivadas de la globalización, problemas como la pandemia originada por el covid-19, el avance de las Tecnologías de la información, exigen una mejor atención del proceso educativo y de investigación que generen soluciones más eficientes y sólidas. La complejidad permite generar soluciones por medio de la proyección y predicción de soluciones basados en simulaciones de escenarios.

Referencias

- Cámara de Diputados. (2019). Ley General de Educación. 14 octubre 2021, de Diario Oficial de la Federación Sitio web: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGE_300919.pdf
- Camara de diputados. (2021). CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. 8 Octubre 2021, de Congreso de la Union Sitio web: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_280521.pdf
- Capra, F. (2002) *The Hidden Connections: Integrating the Biological, Cognitive, and Social Dimensions of Life into a Science of Sustainability* (New York, Doubleday)
- Davis, B. (2004) *Inventions of Teaching: A genealogy* (Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates)
- Damasio, A. (1994) *Descartes' Error: Emotion, reason and the human brain* (New York, G.P. Putnam's Sons).
- Damasio, A. (1999) *The Feeling of What Happens: Body and emotion in the making of consciousness* (San Diego, New York, and London, Harcourt Inc.).
- Estrada, G. A.. (2020). Los principios de la complejidad y su aporte al proceso de enseñanza. 20 octubre 2021, de Scielo Brasil Sitio web: <https://www.scielo.br/j/ensaio/a/b4CvmDH3fN-CRvZT3K3MrQnj/?lang=es>
- Edelman, G. (2004) *Wider than the Sky: The Phenomenal Gift of Consciousness* (New Haven, Yale University Press).
- EPG (2021). Blog Escuela de Posgrado, Universidad Continental. ¿Qué es un sistema complejo y cómo funciona en el sector público?. Se consultó el 4 nov. 2021. <https://blogposgrado.ucontinental.edu.pe/que-es-un-sistema-complejo-y-como-funciona-en-el-sector-publico>
- Goncalves, M. (21 de 12 de 2011). <http://teoriadelossistemas-maryg.blogspot.mx>. Obtenido de EL ENFOQUE DE SISTEMAS: <http://teoriadelossistemasmaryg.blogspot.mx/2011/10/el-enfoque-de-sistemas-sistemas.html>
- Hurtado, D. C. (2008). La teoría de sistemas se fundamenta en tres premisas básicas. En D. C. Hurtado, *Principios de administración* (pág. 100). Medellín: Fondo editorial ITM. Obtenido de Teoría de Sistemas: <http://www.monografias.com/trabajos11/teosis/teosis.shtml>
- Maldonado, C.E. (2014). ¿QUÉ ES UN SISTEMA COMPLEJO?. Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia, 29, 71-93.
- Secretaría de Educación Pública. (2018). La estructura del sistema educativo mexicano . 10 octubre 2021, de SITEAL Sitio web: https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/siteal_mexico_0101.pdf
- Significados *Significados.com*. Disponible en: <https://www.significados.com/conciencia/>
- Serghie, D.. (2018). Context in collaborative structures: transdisciplinarity. *Network Intelligence Studies*, 1, 5-12.
- Stewart, I. & Cohen, J. (1997) *Figments of Reality: The evolution of the curious mind* (Cambridge, Cambridge University Press).
- Thompson, E. (2001) Editor's Introduction: Empathy and consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 8, pp. 5-7.
- Varela, F., Thompson, E. & Rosch, E. (1991) *The Embodied Mind* (Cambridge MA, MIT Press).
- Vasquez, R. G. (2012). Modelación del Desarrollo Sustentable en la ciudad de. En R. G. Vasquez, *Desarrollo Sustentable en la ciudad de Piura* (págs. 33-34).



Teoría de la complejidad y clúster industrial: caso de un clúster de software

Flores Sánchez Carlos Alberto

carlos.flores@uabc.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-1516-166X>
Universidad Autónoma de Baja California

Osuna Millán Nora del Carmen

nora.osuna@uabc.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-5719-7682>
Universidad Autónoma de Baja California

Ricardo Fernando Rosales Cisneros

ricardorosales@uabc.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-0266-2951>
Universidad Autónoma de Baja California

Recepción: 15/09/2021

Aceptación: 18/10/2021

Resumen

Tanto el concepto de clúster industrial como el de teoría de la complejidad no son temas nuevos, sin embargo, ambos han emergido en la literatura de los últimos 20 años como una forma diferente de organización, en el caso del clúster, y de enfoque en el caso de la teoría de la complejidad. El presente documento busca introducir la teoría de la complejidad como instrumento de análisis de clústeres industriales. Para esto se usa la metodología de caso de estudio sobre la experiencia en la construcción de un clúster de tecnologías de información y comunicación. Los resultados del trabajo muestran como las características de la teoría de la complejidad tienen fuertes similitudes con la dinámica de los clústeres, lo que ayuda al entendimiento de estas dinámicas. Se concluye que la teoría de complejidad es una herramienta, que conforme las dinámicas de mercado y avance tecnológico van sucediendo, se vuelve más fundamental para la comprensión y el apoyo al desarrollo de estas aglomeraciones.

Palabras clave: Clúster, teoría de la complejidad, clúster de software

Abstract

Both the concept of industrial cluster and complexity theory are not new topics; however, both have emerged in the literature of the last 20 years as a different form of organization, in the case of the cluster, and focus on the case of complexity theory. This document seeks to introduce complexity theory as an instrument for analyzing industrial clusters. For this, the case study methodology is used on the experience in the construction of a cluster of information and communication technologies. The work results show how the characteristics of complexity theory have strong similarities with the dynamics of clusters, which helps to understand these dynamics. It is concluded that complexity theory is a tool that becomes more fundamental for understanding and supporting the development of these agglomerations as the market dynamics and technological advances take place.

Keywords: Cluster, Complexity theory, cluster software

Introducción

Ni la teoría de la complejidad, ni la literatura de clústeres son temas nuevos, sin embargo, su aplicación y enfoque en las dinámicas organizacionales tiene poco más de 20 años. La industria de las TIC's, en la ciudad de Tijuana, ha manifestado una fuerte dinámica principalmente a principio del siglo XXI, esto propiciado por una fuerte demanda de infraestructura de tecnologías de información por parte de Estados Unidos de Norteamérica. Siendo California uno de los principales estados en cuanto a economía y que colinda con el Estado de Baja California, México.

No es extraño que en muchas industrias exista una dinámica de complementariedades entre esta zona fronteriza, donde California ve a la Baja California como una oportunidad de abaratar costos, desde insumos hasta mano de obra. Por otro lado, Baja California también ve como oportunidad al mercado Californiano con necesidades de insumos que cumpla sus expectativas y de mano de obra preparada (bien pagada en California). En esta dinámica es que en los 90 inician en la región el desarrollo de programas académicos para satisfacer esta demanda. Así como, el surgimiento de empresas que buscan satisfacer esa necesidad principalmente de soporte técnico y de desarrollo de software. Bajo este contexto es que, a principios del siglo XXI, inicia una dinámica empresarial, en búsqueda de un mejor aprovechamiento de la situación de mercado que se habló anteriormente. Esta iniciativa surge de experiencias observables y documentadas como el caso del Silicon Valley (Norberg, 1992), de la Route 128 (Rosegrant y Lampe, 1992), del Bangalore Cluster TIC's (Basant, 2006), y de otras experiencias en México por ejemplo en Mérida, Yucatán, el caso del Centro de la Industria de la Tecnología de Información (CITI), en Monterrey el Consejo de Software de Nuevo León, en Zapopan, Jalisco, el Instituto Jalisciense de Tecnologías de Información (IJALTI).

Estas experiencias documentadas que hablan sobre la dinámica empresarial que logra nuevas formas de organización, donde predomina una relación de Triple Hélice (Ramírez et al, 2012). Donde se busca centrar el trabajo en la cooperación para lograr la innovación, la productividad y la competitividad, donde el aprendizaje y el conocimiento sirven para diversificar los mercados y hacer frente a la competencia y aprovechar los avances tecnológicos.

En este documento primeramente se desarrollan las características de la teoría de la complejidad, para después conceptualizar los clústeres industriales, se desarrolla la metodología, se muestran los resultados del análisis de caso práctico bajo en enfoque de la

teoría de la complejidad y por último se muestran las conclusiones.

Características de la teoría de la complejidad

Un sistema complejo se puede definir como un sistema compuesto por muchas partes interconectada que interactúan de una forma no lineal, y que es capaz de mostrar propiedades de organización y surgimiento. A continuación, se muestran las partes de un sistema complejo (Cilliers, 1998)

1. Agentes: los sistemas complejos están formados por una gran cantidad de agentes.
2. Interconexión: los agentes están interconectados y forman una red de vínculos
3. Conectividad: las interacciones entre agentes definen tres tipos de regímenes: la conectividad tiene lugar cuando todos los agentes están interconectados; es escasamente conectado cuando las redes cuentan con pocos canales de interacción; conectividad media, se describen como sistemas al borde del caos o en un estado de auto criticidad (Bak y Chen, 1991) (Waldrop, 1995).
4. No linealidad: las interacciones son comúnmente no lineales. Existen dos aspectos para la no linealidad: a) relación causa-efecto: no hay proporcionalidad directa entre entrada y salida y b) principio de superposición: los comportamientos de las partes individuales de los sistemas no pueden resumirse para producir un estado final.
5. Ciclo de retroalimentación: incluso en una red escasamente conectada, las interacciones retroalimentan creando un ciclo. El efecto de un ciclo puede ser un refuerzo mutuo entre causas y efecto (retroalimentación positiva) como en una reacción en cadena, y por lo tanto desestabilizante, o atenuación mutua (retroalimentación negativa) y por lo tanto estabilizador.
6. Sistemas complejos son sistemas disipativos: necesitan un flujo constante de energía de su entorno para mantener su grado interno de complejidad. Nicolisy Prigogine en 1989, distinguen entre equilibrio cercano y lejano de los sistemas disipativos de equilibrio: el primero se aproxima a un sistema cerrado en equilibrio estable y que puede describirse mediante un enfoque lineal y reduccionista, que este último está abierto y tiene hambre de energía (o información).
7. Los sistemas complejos son sistemas evolucionarios: los sistemas complejos son evolutivos, es decir tienen una historia. No hay leyes generales que apliquen sobre las circunstancias de la evolución. Esto significa que la suerte a menudo juega un papel importante. Los agentes de un sistema comple-

- jo evolutivo no se puede homologar su comportamiento mediante un promedio.
8. Principio de localidad: los agentes obedecen al principio de localidad, que significa que reaccionan a la información y desconocen el contexto macro. Los agentes pueden ir más allá de su alcance del principio de localidad e internalizan parte de la complejidad en su red. Por otro lado, la re-flexibilidad se refiere a dar forma estratégica a su entorno adaptando una perspectiva crítica sobre ellos.
 9. Auto organización: los sistemas complejos muestran una tendencia a auto estructurar sus patrones colectivos de comportamiento. Por ejemplo, en el caso de una bandada de pájaros volando en forma de flecha no siguen un líder o un conjunto genético o cultural predefinidos de instrucciones. Si no, la forma final es el macro comportamiento resultante de micro comportamientos. La auto organización indica la capacidad de un sistema para desarrollar o cambiar la estructura interna de forma espontánea y adaptativa para hacer frente a, o manipular su entorno (Cilliers, 1998). La auto organización no es precisamente resultado de una estrategia deliberada o de una necesidad genética, sino es resultado del nivel de coherencia que tiene lugar entre los actores individuales en la búsqueda de sus metas locales
 10. Coevolución: por el papel fundamental de la conectividad, cualquier acción dentro del sistema es inherentemente de naturaleza circular. Las acciones no suceden de forma aislada, pero si tienen el potencial de desencadenar una serie de efectos sobre los nodos (agentes) con los que el nodo está interconectado. El efecto resultante es el lograr un efecto no aislado, la transformación de cualquier parte sin que se produzca un proceso simultáneo de adaptación en el resto del sistema. La interdependencia genera coevolución, que Kauffman (1995) describe como el proceso evolutivo donde cada paso dado por cualquier agente modifica el entorno de los demás.
 11. Surgimiento: cuando los átomos se organizan en moléculas, dichas moléculas son los ladrillos de la vida. La auto organización genera una jerarquía de un mundo de sistemas complejos organizados y anidados, parcialmente desacoplados. El surgimiento de un sistema dentro de otro requiere de un aumento de orden en el nivel espaciotemporal de un nuevo sistema. Este proceso requiere energía porque invierte la tendencia de los sistemas a aumentar su desorden interno, medido por el concepto termodinámico de entropía. Este enfoque tiene consecuencias radicales: en primer lugar, si el surgimiento requiere de un orden y de un flujo negativo de entropía para apoyar el nuevo orden,

- entonces los sistemas en el equilibrio son sistemas muertos y los sistemas activos deben ser disipativos (característica 6). En segundo lugar, donde las disciplinas de base newtoniana estudian sistemas en equilibrio como sinónimo de sistemas optimizados y estables, entonces la búsqueda de ciencias basadas en la complejidad por las leyes de los sistemas disipativos autoorganizados dinámicamente. Y, por último, siendo los sistemas newtonianos deterministas, una trayectoria definida vinculará la evolución de un sistema desde un conjunto de condiciones iniciales hasta el estado de equilibrio final, mientras que, de acuerdo con la complejidad, múltiples estados alejados del equilibrio podrían corresponder a el mismo conjunto de condiciones iniciales.
12. Reacciones auto catalíticas: un mecanismo que podría explicar la aparición de niveles jerárquicos ordenados es introducido por Kauffman (1995) sugiriendo que un conjunto de reacciones químicas se vuelve auto catalítico en presencia de una cantidad suficiente de diferentes moléculas. Si la variedad es suficientemente grande, entonces hay una alta probabilidad de que algunas moléculas tengan el doble papel de entrada / reactivo y producto de la reacción. Lo cual lleva a una mayor variedad y aceleración de la reacción. La auto catálisis genera un mecanismo de retroalimentación positiva que, por un lado, genera nuevas moléculas, lo cual se traduce en un aumento de la variedad interna del sistema. Por otro lado, conectando las moléculas existentes en una red de múltiples reacciones, se refuerza el proceso auto catalítico. Los modelos de masa crítica son útiles aquí (Shelling, 1978). Cuando se alcanza un punto crítico de algunas variables de control entonces el sistema puede volverse inestable y surge un conjunto ramificado de soluciones. Esto representa un punto de bifurcación (Nicolis y Prigogine, 1989), donde son las condiciones locales las que forzan al sistema a optar por una de las ramas de la bifurcación.

Clusters

El fenómeno de la aglomeración industrial tiene más de cien años como objeto de estudio de la actividad económica y de sus mecanismos. La aglomeración ocurre a diferentes escalas geográficas, desde áreas dentro de las ciudades hasta áreas entre continentes, así como a través de diferentes industrias, ya sea en actividades altamente especializadas o de la actividad económica a través de varias industrias (Lindqvist, 2009).

Alfred Marshall (1920) observó la concentración de fabricantes de sillas en Buckinghamshire y del comercio de cubiertos de mesa en Sheffield. Antes de esta obser-

vación, se tenían ubicados lugares con fortalezas económicas como el caso de Ginebra en la industria de los relojes y el caso de Venecia como constructores de barcos. La historia ha mostrado que algunas aglomeraciones han sido persistentes, como el caso de Ámsterdam como centro editorial desde mediados del siglo XVII.

La aglomeración no afecta de la misma forma a todas las actividades económicas. Algunas son fuertemente concentradas, como el caso de los servicios financieros que suelen estar en los distritos financieros, mientras otras tienden a ser más dispersas como es el caso de las estéticas (salón de belleza). Sin embargo, con el fenómeno de la aglomeración surgen preguntas como ¿por qué existe?, ¿Qué factores y fuerzas atraen esas concentraciones?, y ¿Qué es lo que los mantiene unidos? A partir de estas preguntas han surgido varias teorías para explicar la aglomeración y por qué ocurre tal fenómeno espacial.

Alfred Marshall fue el primero en explicar el mecanismo de la aglomeración industrial, específicamente de una industria. En su trabajo sugiere que la ubicación de recursos para los negocios podría producir efectos de proximidad que denominó externalidades económicas (Marshall, 1920), de las cuales destaca cuatro: a) transferencia de habilidades e invenciones entre colegas, competidores y generaciones, b) surgimiento o crecimiento de industrias proveedoras a la industria central, con especialización en insumos y servicios, c) ventajas de escala en la compartición de maquinaria especializada, y d) mano de obra especializada.

Por su parte (Jacobs, 1969) propuso que la proximidad de varios negocios en actividades de diferentes campos, da lugar al surgimiento de nuevos tipos de negocio, y esto a su vez trae el crecimiento económico en las ciudades. De ambos autores se puede destacar que si las aglomeraciones existen, entonces deben existir efectos de proximidad dependientes, los cuales sirven para lograr su crecimiento y mantenerse (Lindqvist, 2009).

Entre 1940 y 1970 la geografía económica estuvo ausente en las corrientes principales de la teoría económica. Krugman (1995) atribuye el abandono al cambio a un riguroso modelado matemático en el análisis económico. Hasta el planteamiento del modelo de Dixit-Stiglitz de competencia monopolística, era prácticamente imposible incorporar economías de escala, de tal forma que las externalidades económicas eran simplemente ignoradas (Lindqvist, 2009). Sin embargo, entre 1980 y 1990, el fenómeno de las aglomeraciones volvió a llamar la atención de los investigadores de la nueva geografía económica y la nueva teoría de comercio, a partir de nuevos modelos para conceptualizar diferentes formas en que las economías de escala podrían provocar un crecimiento al comercio tanto internacional como interregional con un enfoque en la transferencia de conocimiento (Malmberg et al., 1996).

El enfoque en la aglomeración de industrias individuales o la integración de redes de compradores-proveedores, fue objeto de estudio en el área norte de Italia (Pyke et al., 1990). A este tipo de aglomeración la denominaron distrito industrial, el cual se caracterizó por una alta concentración geográfica de empresas en una pequeña área, con un perfil de especialización muy estrecho entre ellas. El predominio de las pequeñas y medianas empresas incrustadas en su ambiente local, permitió definir los distritos industriales como una entidad socio-territorial caracterizada por la presencia activa de una comunidad de personas y una población de empresas de una forma natural e histórica en un área determinada (Becattini, 1990). La especialización flexible y la producción en pequeños lotes de las pequeñas empresas se ven como una alternativa post-fordista a la producción a escala, caracterizada por corporaciones verticalmente integradas que dominaron las economías del oeste después de la segunda guerra mundial (Piore y Sabel, 1984).

La aglomeración de industrias en general se observa en el trabajo de Jacobs (1969), donde concluye que todas las innovaciones ocurren en las ciudades donde hay grandes cantidades de personas y empresas que representan diferentes tipos de conocimiento. Las ciudades permiten la división de trabajo y cuando este es combinado en nuevas formas ocurre la innovación, la cual mejora de manera continua por la atracción de una multitud de actividades en áreas cercanas. Una perspectiva similar enfatiza en la importancia de la clase creativa compuesta por personas que encuentran nuevas formas de realizar su trabajo (Florida, 2005). Esta clase creativa constituye aproximadamente un 30% de la fuerza de trabajo de Estados Unidos y migran gradualmente a centros creativos atraídos por las condiciones de vida que incluyen experiencias de alto nivel y apertura a la diversidad.

Metodología

La metodología que se utiliza es de un caso de estudio, donde se analiza la construcción del clúster de software de Tijuana conocido como BIT Center (Baja's Innovation and Technology Center). Se usa la teoría de la complejidad para explicar la dinámica que se dio en la construcción de dicho centro. Los casos de estudio son un modelo útil de investigación, que ayudan a estructurar la obtención de información en contextos de la vida real. Se utilizó esta metodología por que permite estudiar la dinámica de clúster desde la perspectiva de teoría de complejidad, así como explorar y obtener un conocimiento mas amplio del fenómeno clúster (Chetty, 1996).

Los pasos para seguir fueron determinar las preguntas de investigación, selección de las proposiciones teó-

ricas, determinar la unidad de análisis, realizar la vinculación lógica de los datos a las proposiciones y definir los criterios para la interpretación de los datos.

Resultados

Definición de clúster desde el enfoque de teoría de la complejidad

En este documento se busca consolidar la visión de clúster como un sistema complejo impulsado por su dinámica interna de ciclos auto sostenidos de transacciones sociales. La dinámica del clúster esta basada en mecanismos positivos de retroalimentación auto sostenida y en la capacidad de red interconectada de relaciones dentro de un entorno definido que parte de la organización macro agregada y por un conjunto de trayectorias tecnológicas interrelacionadas. Así mismo, por mecanismos de retroalimentación y redes de relaciones. Estas redes de relaciones son la fuente de complejificación del clúster, como resultado de un aumento en densidad y frecuencia de las transacciones sociales entre agentes (Boisot, 1998). En el caso del BIT Center, viene de una dinámica del sector de las Tecnologías de Información, impulsado por la Cámara Nacional de la Industria Electrónica de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI) y con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), del Gobierno del Estado, y la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Este proyecto busca ser un albergue a empresas, asociaciones y centros académicos y de investigación relacionadas con la industria de las TIC's que operan en Baja California. Esta concentración en un mismo espacio físico, les permitiría compartir conocimientos, experiencias, costos, imagen, servicios e infraestructura, además de crear sinergias positivas para los participantes.

Fase de surgimiento de la organización clúster

Lo primero que se observa en cuanto al surgimiento de la iniciativa de clúster es la creación de una red de agentes interactivos. Las transacciones repetidas entre agentes generan un patrón de relaciones que define la conectividad de la red. Estas transacciones pueden tener lugar verticalmente a lo largo de la cadena de valor de la industria, u horizontalmente entre competidores, empresas o agentes no relacionados y puede tomar forma de interdependencias negociadas o no negociadas. En una red genérica, como una red booleana, definida por un tipo de nodo y un tipo de enlace, cuando el número de enlaces se vuelve comparable al número de nodos, entonces surge una red gigante (Kauffman, 1995). La dinámica del sistema se vuelve dominado por los efectos generados por las múltiples interdependencias

entre nodos. Bajo esta condición, el comportamiento del sistema experimenta una transición de fase desde linealidad a no linealidad (característica 4) y de evolución a coevolución (característica 10). El comportamiento del sistema no puede derivarse de la suma de sus partes individuales, sino que debe tener en cuenta a los primeros fenómenos cooperativos que surgen de la retroalimentación múltiple, y por otro lado, la distinción entre propiedades jerárquicas dependientes de la escala.

Los agentes son las unidades básicas de un sistema complejo. Si los agentes se definen como cualquier actor capaz para realizar una transacción social, las personas son el primer tipo de agentes, pero no el único. Es importante incluir tanto personas, como empresas e instituciones que también pueden realizar transacciones. Es importante mostrar lo importante de los agentes legales, pues suele pasarse por alto dos hechos: el primero es que la mayoría de las transacciones entre agentes legales tienen lugar fuera de los canales formales de transacciones establecidas por los agentes legales. En segundo lugar, que algunas de las transacciones mas importantes, como las relacionadas con la creación de conocimiento (innovación) o de nuevas actividades emprendedoras, como start-ups o spin-offs, son realizadas por individuos o comunidades que pueden o no ser influenciadas por estructuras legales. Stacey en 1995, describe el papel de agrupaciones espontáneas dentro de la organización que juegan en la innovación radical, afirmando que la naturaleza caótica de las innovaciones radicales requiere de comunidades mas en sintonía con la complejidad de la innovación.

Otro ejemplo que se encuentra fuera de las estructuras legales de la organización esta documentada por Becattini en 1997 y Malone y Laubacher en 1998, donde hablan de la figura del Impannatore, que es un clúster industrial textil de Prato, Italia. Los Impannatori, son arquitectos empresariales. Su función es analizar el contexto, identificar nuevos mercados, idear un nuevo producto (colección de moda) y organizar, en torno a él. Con esto se crea un consorcio de proveedores de vida limitada (Hall, 1999).

En el caso del BIT Center se tiene que uno de los principales objetivos de organizarse es de tener acceso a recursos públicos que ayuden a la realización de proyectos de innovación. Si bien es cierto existen programas que incentivan a la cooperación entre empresa y una o varias instituciones de educación superior. El lograr formalizar proyectos dentro de la industria tiene un impacto en el desarrollo de esta, pues los resultados del proyecto no únicamente quedan en la empresa participante, sino que se transfieren a otras empresas que por ser parte del clúster tienen acceso por lo menos a la socialización de los resultados. Dicha socialización es el proceso reiterativo de retroalimentación, que sirve para

ir involucrando a nuevos actores a que participen en los nuevos proyectos. Por otro lado, la misma necesidad de generar innovaciones va creando una idea clara de tendencias que se van formando en el mercado, lo cual va propiciando un caldo de cultivo para la generación de nuevos emprendimientos. Así mismo, los participantes de los proyectos van desarrollando nuevas capacidades y habilidades que les permiten emprender. Por otro lado, las instituciones de educación superior participantes van creando spin offs gracias a las experiencias de participar en dichos proyectos.

Un vínculo en un entorno socioeconómico toma la forma de una transacción social. Dos preguntas que son relevantes sobre las transacciones sociales y la fase de transición son: a) ¿en qué condiciones se establece una red de transacciones sociales?, y b) ¿cuáles son los mecanismos que favorecen un aumento en la intensidad de las transacciones? En la literatura sobre clústeres industriales se señala que las economías flexibles dependen de una alta confianza de relaciones que se refuerzan a través de sus operaciones pero que no pueden generarse por sí mismos (Sabel, 1989). Pero, según Axelrod (1984) y la teoría de juegos, la preexistencia de confianza no es una condición previa para el inicio del comportamiento cooperativo. Sino que, la cooperación puede prosperar en un mundo donde existen agentes egoístas, si es probable que las transacciones se repitan. La condición para la iteración se proporciona en un grupo geográfico por el factor de proximidad. De hecho, si los agentes saben que es probable que las transacciones se repitan, entonces es probable que eventuales comportamientos oportunistas sean correspondidos y por otro lado, si se conoce la identidad de los agentes, es menos probable que la deserción represente una estrategia de éxito. Por lo tanto, cuanto mayor sea el grado de correlación (densidad y frecuencia de transacciones), mayor es la probabilidad de que surja un comportamiento cooperativo. El surgimiento de la cooperación provoca la aparición de un sistema de retroalimentación interna dentro de la red, por lo cual la acción de un solo agente afecta directa o indirectamente la aptitud de los otros agentes, determinando así la formación de unas comunidades de agentes, obedeciendo reglas comunes y utilizando conjuntos comunes de valores y creencias. Dicho de otra forma, el bloque de la red en un patrón duradero de interdependencias genera el surgimiento de reglas compartidas de comportamiento y mentalidad. Cuando esto ocurre, la red se caracteriza por una estructura de orden superior (característica 11), capaz de reacción colectiva y comportamiento anticipativo.

El BIT Center surge como iniciativa de agentes económicos, sin embargo, tiene una fuerte relación el vínculo que estos agentes económicos tienen con otras experiencias las que incentivaron a la formalización y búsqueda de la consolidación del BIT Center. Experiencias

previas a nivel nacional e internacional que le dan forma a la iniciativa.

La intensidad de las transacciones es un factor clave para el surgimiento de esa red de relaciones que define la especificidad de un clúster: la capacidad de los agentes económicos de coordinar sus micro actividades en un patrón coherente. La intensidad de las transacciones también es clave para la aparición de no linealidades en el sistema. Si la producción de un bien o servicio requiere un conjunto complejo de transacciones no sujetas al control externo, la coordinación debe estar asegurada por los múltiples bucles de retroalimentación que unen a los agentes en una red.

El aumento de la intensidad de las transacciones como fenómenos que tienen lugar durante un tiempo y en un territorio delimitado geográficamente puede leerse como un efecto de aglomeración. Como Fujita et al., en 1999 señalan: el problema básico de hacer teoría geográfica económica ha sido siempre la observación de que cualquier historia sobre la región y el desarrollo urbano debe depender de manera crucial del papel de los rendimientos crecientes. Los rendimientos crecientes y la intensidad de las transacciones son similares al concepto de reacción auto catalítica presentada en la característica 12. Este punto, demuestra que se necesita alguna forma de masa crítica para describir el inicio de la espiral de rendimientos crecientes o reacción auto catalítica. Es bien sabido, que cuando el comportamiento de los actores económicos se vuelve interdependiente con lo que hacen otros agentes, los modelos de masa crítica se vuelven importantes. El concepto de masa crítica, aglomeración como manifestación de rendimientos crecientes y auto catalíticos sugieren que la evolución de una red de agentes económicos puede generar un clúster de rendimientos crecientes cuando la intensidad de las transacciones dentro del clúster alcanza un valor crítico. Se caracteriza una red de organizaciones que atraviesa una fase de transición por las siguientes propiedades: a) desplazamiento de las actividades de creación de valor fuera de los nodos de la red, b) aparición de una espiral entre las fuerzas de la diversidad y los efectos del reciclaje y multiplicador, c) aparición de un lugar complejo, y d) aparición de un sistema distribuido de conocimiento.

El BIT Center tiene la idea de que gracias a la proximidad de las empresas dentro del inmueble BIT Center, facilitara las relaciones entre los miembros del clúster, lo que significa un aumento de la intensidad y la cantidad de relaciones entre miembros. En estas relaciones es donde esta el valor del clúster, pues es como se van revelando las preferencias de los agentes, así como la entropía del sistema se disminuye por el flujo de información. Además, la ubicación del inmueble permite tener acceso a otras industrias del mismo sector, las cuales aún sin pertenecer al clúster pueden integrarse en

algunas actividades. Por otro lado, las relaciones entre los miembros del clúster se pueden identificar complementariedades que en un momento dado pueden servir para atender a nuevos mercados, o crear mercados, mediante la diversificación de productos, incluso como consecuencia de la especialización.

El valor creado por un grupo de empresas que interactúan libremente entre sí (red), es la suma de los valores generados en cada nodo individual (dinámica lineal). En el caso de las empresas agrupadas, el valor total es mayor que la suma de los valores generados en cada nodo (dinámica no lineal), por que una parte relevante del proceso de creación de valor tiene lugar a nivel interfaz. Debido al efecto de la espiral, el entorno de transacciones sociales que solía ser mayoritariamente interno a la empresa ha sido sustituido por el sistema de relaciones entre los agentes especializados del clúster. Dicho de otra forma, un clúster representa una forma de gobernanza en la que el proceso de creación de valor se transfiere al sistema de relaciones en el clúster. Dependiendo del enfoque, el supuesto de que la empresa representa la unidad de análisis de los estudios económicos y organizativos, se vuelve cuestionable (Arthur y Rousseau, 1996). La unidad de análisis se convierte en el sistema de relaciones entre organizaciones, no necesariamente empresas, y el proceso económico se convierte en un proceso de conversación y coordinación entre agentes.

En el caso del BIT Center, su estudio como clúster va más allá de la simple suma de sus inquilinos, sino que en su creación tiene una junta directiva que toma decisiones estratégicas en beneficio del desarrollo del sector y de la comunidad en general al fomentar el uso de las TIC's. Sin embargo, debe existir una planeación estratégica acorde a las características de la literatura de los objetivos de un clúster, pues no es suficiente con llevar la parte de la dirección y de la una junta directiva, sino que es necesario trabajar en la planeación estratégica y definir el rumbo del clúster, además de buscar formas de generar relaciones de forma óptima.

La fragmentación, provocada por los procesos de verticalidad, desintegración y especialización flexible, junto con la diferenciación interna generado por la internalización de la oferta y demanda dentro de los límites del clúster (Porter, 1998), hace que la variedad interna de los agentes incremente. El número y complejidad de nichos de mercado dentro del área del clúster aumenta y la propiedad de los productos finales se traslada de los nodos al interior del clúster.

La variedad desencadena un fenómeno de efecto multiplicador. Es conocido en economía de que una transacción puede tener un efecto en cascada sobre transacciones sucesivas. El efecto multiplicador juega un papel importante en los sistemas jerárquicos o de mercado tradicionales. Este efecto multiplicador captu-

ra el hecho de que a medida que crece el tamaño de la economía del clúster, se vuelve más conveniente para producir una distribución más amplia de productos y servicios dentro del clúster, dando lugar a una dinámica de rendimientos crecientes.

El mismo recurso, ya sea tangible o intangible, se reutiliza dentro del clúster, con más intensidad que en el caso de una organización aislada. John Holland, 1995, comenta que el reciclaje puede aumentar la producción, pero el efecto general del reciclaje dentro de una red con muchos ciclos puede ser explosiva. Holland ejemplifica con una selva tropical y comenta que esta es de un suelo extremadamente pobre, sin embargo, el bosque en sí es rico tanto en especies como en su cantidad. Esta situación depende casi por completo de la capacidad del bosque para capturar y reciclar recursos críticos para el ecosistema.

Por otro lado, el crecimiento dentro de un clúster se lleva a cabo mediante la reducción de costos, o por innovaciones incrementales o radicales. En cuanto a los costos, la competencia se describe como competencia perfecta de mercado y, en términos biológicos, está regulada por la ley darwiniana de selección. Este es un proceso que no afecta y que no depende de el grado de variedad del sistema. La competencia esta impulsada por la creación de nuevos nichos de mercado o por nueva tecnología y se define como competencia shumpeteriana. Este proceso es similar al proceso de especialización en ecología y es un proceso generador de variedad, porque las especies pertenecientes a diferentes nichos no competirán directamente entre si. El equilibrio entre los dos efectos (mercado perfecto frente al shumpeteriano o selectivo, presión versus especialización) depende de la variedad del sistema y de la tasa de cambio de variedad. Cuanto mayor sea el grado de variedad del sistema y la velocidad de cambio sea más rápida, la competencia shumpeteriana más dominante será, según Gibbons y Metcalfer (1986), cuando la tasa de innovación dentro de una industria sea directamente proporcional a su grado de variedad económica. El terreno de la competencia se moverá del tipo de interacción presa / depredador con su proceso característico de muerte / reemplazo al proceso de separación de nichos basado en redes de complementariedades e innovación. El equilibrio entre los dos mecanismos de competencia (Mckelvey, 1999) depende de la tasa de coevolución, que se vuelve dominante en la fase de transición, donde se logra el valor de las transacciones sociales y entra en juego una variedad de mecanismos en espiral. La distinción entre la importancia relativa del mercado shumpeteriano frente al mercado perfecto la competencia puede ayudar a trazar otro elemento de distinción entre clúster y redes.

Una de las principales ideas de impulsar la creación del BIT Center es la especialización del sector, la cuál no

surge espontáneamente, sino que es resultado de las interacciones entre los actores de un mercado. También pueden surgir ideas sobre oportunidades de especialización como resultado de un estudio de mercado y enfocarse a lograr nuevas competencias para ofrecer nuevos productos o servicios. Por otro lado, también es importante estudiar la dinámica que se está dando en los actores miembros y no miembros del clúster, pues estos de alguna forma están revelando que tendencias están viéndose. Por último, la especialización de una industria también puede venir de la suma de dos industrias, y que en conjunto creen una nueva, o que transformen una industria tradicional en una más tecnificada.

Aparición de un lugar complejo

Cuando un conjunto de organizaciones se convierte en una red autosuficiente de transacciones interdependientes, el sistema puede sufrir una transición de fase donde surgen propiedades sistémicas, sin embargo, estas propiedades no necesariamente representan el surgimiento de un nivel superior de organización. El surgimiento del nivel superior de organización constituye un cambio ambiental. La complejidad que aporta la variedad de generadores de mecanismos y que estos son posibilitados por la propiedad de proximidad, lo cual produce un nuevo entorno. Con la diferenciación entre el entorno interno del clúster, externo a la organización, pero interno al clúster, y el externo (externo tanto a las organizaciones como al clúster). Los dos entornos son diferentes en términos de tipo de dinámica y procesos de creación de valor. Los sistemas complejos se pueden diferenciar de los no complejos por su capacidad de generar su propio lugar, es decir, anidar dentro del entorno externo un tipo específico de lugar, hecho por una mezcla única de cultura territorial, tecnología y formas organizativas. Dicho lugar se define, por un alto grado de acoplamiento entre el lugar y los agentes; por una comunidad de conocimientos y prácticas; y por una trayectoria tecnológica envolvente (Dosi & Orsenigo, 1985).

El acoplamiento de los agentes, a diferencia de un entorno tradicional, donde los agentes actúan de forma estática (desde el punto de vista de los agentes), existe un fuerte acoplamiento coevolutivo entre agentes y grupo. Este entorno cercano es el resultado de la conectividad de los agentes y por lo tanto sensible a las acciones de los agentes. Las estrategias de planeación estratégica, que prosperan en un entorno estático con un grado bajo, o nulo, de acoplamiento entre los agentes, y medio ambiente, son un ejemplo de estrategia darwiniana o evolutiva. En cambio, las estrategias coevolutivas son necesarias cuando hay un acoplamiento significativo y necesitan tener en cuenta los efectos de red no lineales (Arthur, 1996).

El lugar creado por la interacción compleja de los

agentes coincide con un Lamarckiano, es decir, una comunidad definida por una mezcla territorialmente delimitada de competitividad / y comportamiento de cooperación. La unidad de análisis socioeconómico cambia de la organización a lo que define el actor socioeconómico de la comunidad. La comunidad se basa en un conjunto de valores locales y un enfoque específico para el aprendizaje y el intercambio de información, que es en gran parte inconsciente e inadvertido (Becattini, 1998). También se llevan a cabo formas similares de intercambio de información fuera de la comunidad del clúster, pero sin la misma ética de libre comunicación, ni prácticas de intercambio y cooperación y ni a la misma escala. La actitud frente al intercambio de información con la competencia es la verdadera prueba de fuego. Este tipo de intercambio de información es menos sorprendente si se piensa que en un clúster sería difícil ocultar una determinada información. Pues puede ser conveniente cambiarla por una información en el futuro.

El BIT Center tiene unos nobles ideales de cooperación para el desarrollo y fomento del sector en la región, las relaciones que se den entre los agentes involucrados en el clúster son los que marcarán el ritmo del desarrollo. Desde la óptica de la teoría de la complejidad se sabe que entre mayor sean las interacciones más se intensifica la comunicación y por ende se generan nuevas opciones de resultados. Es importante que dentro del clúster se fomente la integración y cooperación de los miembros en diferentes actividades, desde actividades rompehielo hasta el desarrollo de eventos en conjunto y así hasta llegar a la elaboración de proyectos. La confianza es algo que se tiene que ir construyendo y es de poco a poco, pero lo importante es iniciar. De ahí lo importante de iniciar el ejercicio de prueba y error en las relaciones e ir las fortaleciendo poco a poco, incluso desde un ámbito informal.

Un clúster está formado por un conjunto de organizaciones unidas por relaciones de complementariedad, proximidad e historia. Esta densa e intensa red de complementariedades entre usuarios y productores de la tecnología, dentro y a través de diferentes sectores define un lugar tecnológico que se convierte con el tiempo en endógeno. Los límites de este lugar endógeno están definidos por el conjunto de trayectorias tecnológicas interrelacionadas (Dosi y Orsenigo, 1985) que surgen a través del proceso espontáneo y autoorganizado de un enfoque de ensayo y error. Este lugar marca una diferencia de la red (cadena de suministro) o tipo de organización independiente debido al proceso centralizado de coordinación. Las opciones tecnológicas tienden a estar restringido en torno a una sola tecnología o trayectoria tecnológica.

El clúster como un sistema distribuido de conocimiento, se ve como una forma de meta organización,

pues sus elementos pueden auto organizarse y generar un nuevo nivel organizacional que está definido por un lugar adecuado y un conjunto específico de valores y prácticas. Este nivel organizacional debe ser autónomamente capaz, con el fin de percibir sus cambios internos e interactuar con los externos para: a) recopilar datos, b) organizarlos en patrones informativos, c) destilar una representación operativa (conocimiento), y d) almacenar esa información para uso futuro.

Ante el planteamiento de como los sistemas puramente descentralizados pueden procesar información de forma orgánica, el problema de representación en un grupo se puede explicar parcialmente por los mecanismos de una representación de una red neuronal: una red neuronal consta de un gran número de neuronas simples que se encuentran interconectadas. Los pesos asociados con las conexiones entre neuronas determinan las características de la red. Durante un período de entrenamiento, la red ajusta los valores de la interconexión. El valor de cualquier peso específico no tiene importancia, es el patrón de valores de ponderaciones en todo el sistema que contienen información. Estos patrones son complejos y son generados por la propia red, no hay un procedimiento abstracto disponible para describir el proceso utilizado por la red para resolver el problema (Cilliers, 1998).

Como una red neuronal, la información se transforma en conocimiento y luego en acción, sin el prerrequisito de un sistema semántico de reglas. No hay necesidad de un sistema centralizado que almacena información y dicta las reglas de comportamiento. La tradicional vista piramidal de las empresas como una jerarquía organizada que recopila y transmite datos e información de abajo hacia arriba. El conocimiento se codifica en la parte superior y crea una sintaxis que luego se filtra hacia abajo, la organización no se mantiene en un grupo. La memoria simplemente se almacena en los patrones de conexiones entre agentes distribuidos y en los vínculos intra e interorganizacionales. La creación de conocimiento implica un cambio en el patrón de conexiones, una reorganización de la geografía y tipología de enlaces. El punto crucial es que esta reorganización no se basa en una estrategia deliberada, sino por el

contrario, es una consecuencia involuntaria producto de los intentos de los agentes de maximizar su aptitud mediante interacciones e información locales.

Conclusiones

La literatura sobre clúster ha hecho uso de una variedad de marcos, todos centrados en el concepto de economía y sociología de la forma de organización en red, este documento sugiere el uso de la teoría de la complejidad, pues esta puede contribuir en la reinterpretación el fenómeno de la aglomeración industrial a la luz de una teoría dinámica y relacional basada en el poder de las relaciones no lineales entre los agentes. Además, se basa en el concepto de emergencia y auto organización y sobre el resultado de la investigación sobre clúster. Este documento presenta las siguientes ideas: a) la forma organizativa de un clúster es una propiedad emergente del recurrente patrón de transacciones sociales que tienen lugar en una red de organizaciones que interactúan sobre un territorio geográfico; b) el clúster se define por la creación de un tipo específico de entorno basado en un conjunto de trayectorias tecnológicas y productivas, por un sistema distribuido de conocimiento y por una comunidad.

El clúster internaliza los aspectos socioeconómicos y relacionales fundamentales, como usuarios-productores mediante la coincidencia territorial de oferta y la demanda, y reduce la incertidumbre a un nivel manejable a través de los mencionados internalización y exploración de un conjunto de trayectorias tecnológicas interrelacionadas.

Los clústeres son impulsados por una dinámica interna de retroalimentación positiva auto sostenida, ciclos de transacciones sociales. Estos ciclos se vuelven auto-suficientes cuando se logra una densidad crítica de transacciones sociales. Bajo esta condición en fase de transición determina la evolución de una red a un clúster.

El clúster depende para su supervivencia de la innovación continua y representa una forma adaptativa a las fluctuaciones extremas del mercado. Estandarización de técnicas y ubiquitinación de conocimientos son incompatibles en el clúster.

Referencias bibliográficas

- Arthur, W. B. (1996). Increasing returns and the new world of business. *Harvard Business Review*, July-August.
- Axelrod, R. (1984). *The evolution of co-operation*. London: New Basic Books.
- Bak, P., & Chen, K. (1991). Self-organised criticality. *Scientific American*, January.
- Basant, R. (2006). "Bangalore cluster: Evolution, Growth and Challenges". Working Paper 2006-05-02. Indian Institute of Management. Ahmedabad – 380 015.
- Becattini, G. (1990). "The Marshallian industrial district as a socio-economic notion". In F. Pyke, G. Becattini y W. Sengenberger (Eds.). *Industrial districts and interfirm co-operation in Italy*. Geneva: International Institute for Labour Studies.
- Becattini, G. (1997). *Prato: Storia di una Città: il distretto industriale*. Florencia: Le Monnier.
- Becattini, G. (1998). *Distretti industriali e made in Italy*. Torino: Bollati Boringhieri.
- Boisot, M. (1998). *Knowledge assets: Securing competitive advantage in the information economy*. Oxford: Oxford University Press.
- Chetty S. (1996). The case study method for research in small- and médium – sized firms. *International small business journal*, vol. 5, octubre – diciembre.
- Cilliers, P. (1998). *Complexity and Postmodernism*. Londres: Routledge.
- Dosi, G., & Orsenigo, L. (1985). *Order and change: An exploration of markets, institutions and technology in industrial dynamics*. Brighton: SPRU, discussion paper, No. 32.
- Florida, R. (2005). *Cities and the creative class*. Abingdon: Routledge.
- Fujita, M., Venables, A., & Krugman, P. (1999). *The spatial economy: Cities, regions and international trade*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Gibbons, M., & Metcalfe, J. (1986). *Technology, variety and competition*. In: I. Prigogine, & M. Sanglier (Eds), *Laws of nature and human conduct*. Brussels: Academie Royal Belgique.
- Hall, R. (1999). Rearranging risks and rewards in a supply chain. *Journal of General Management*, 4 (3), Spring.
- Holland, J. H. (1995). *Hidden order: How adaptation builds complexity*. Massachusetts: Addison Wesley.
- Jacobs, J. (1969). *Economy of cities*. New York: Vintage.
- Kauffman, S. (1995). *At home in the universe*. Oxford: Prensa de la Universidad de Oxford.
- Krugman, P. (1995). *Development, geography and economic theory*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Lindqvist, G. (2009). "Disentangling clusters: agglomeration and proximity effects". Disertación PhD tesis en Stockholm School of Economics. Jönköping University, 2009.
- Malmberg, A., Sölvell, Ö., & Zander, I. (1996). "Spatial clustering, local accumulation of knowledge and firm competitiveness". *Geografiska annaler*, 78 B(2), 85-97
- Marshall, A. (1920). *Principles of Economics*. 8th ed. Vol. Libro IV. London: Macmillan.
- Malone, T. W., & Laubacher, R. J. (1998). The dawn of the E-lance economy. *Harvard Business Review*, September-October, 149..
- McKelvey, B. (1999). *Visionary leadership vs. distributed intelligence: Strategy, micro-evolution, complexity*. EI-ASM Workshop on Complexity and Organisation. Brussels, June.
- Nicolis, G., & Prigogine, I. (1989). *Exploring complexity: An introduction*. New York: Freeman.
- Porter, M. (1998). Clusters and the new economics of competition. *Harvard Business Review*, November-December
- Norberg, A. (1992). "The origins of the Electronics Industry on the Pacific Coast". *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers* 64. Num. 9. pp 1314 – 1322.
- Piore, M., & Sabel, C. (1984). *The second industrial divide: possibilities for prosperity*. New York, NY: Basic Books.
- Pyke, F., Becattini, G., & Sengenberger, W. (1990). *Industrial districts and inter-firm co-operation in Italy*. Geneva: International Institute for Labour Studies.
- Ramírez, B., Osuna, J. & Suástegui, B. (2012). "Vinculación Universidad – Sociedad y el modelo de la Triple Hélice". XIII Asamblea General de ALAFEC. Asociación Latinoamericana de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración. Obtenido en: http://132.248.164.227/alafec/docs/asambleas/xiii/ponencias/educacion/pdf/E_06.pdf
- Rosegrant, S. & Lampe, D. (1992). *Route 128: Lessons from Boston's High-Tech Community*. New York: Basic Books.
- Sabel, C. F. (1989). Flexible specialisation and the re-emergence of regional economies. In: P. Hirst, & J. Zeitlin (Eds), *Reversing industrial decline?* Oxford: Berg.
- Shelling, T. C. (1978). *Micromotives and Macrobehaviour*. New York: Norton & Company
- Stacey, R. D. (1995). The science of complexity: An alternative perspective for strategic change processes. *Strategic Management Journal*, 16..
- Waldrop, M. M. (1992). *Complexity, the emerging science at the edge of order and chaos*. London: Penguin.

La Teoría de la Complejidad y el Entorno Educativo

María del Consuelo Salgado Soto

csalgado@uabc.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2939-9388>

Académica de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Baja California.

Josué Miguel Parra Flores

josue.miguel.parra.flores@uabc.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1424-4498>

Académico de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Baja California.

Recepción: 06/09/2021

Aceptación: 22/10/2021

Resumen

La teoría de la complejidad permite explorar a sistemas a partir de su composición como una totalidad. Está ha sido utilizada para modelar organizaciones, fenómenos naturales y sociales, incluso relaciones entre países e individuos; la educación como un fenómeno puede ser considerada un sistema complejo, y ser analizado a través de esta perspectiva con la intención de proponer la aplicación de acciones que modifiquen esa realidad. En este trabajo se analiza un entorno educativo desde el punto de vista sistémico y complejo, para señalar las propiedades o eventos donde se plantea la percepción de un posible conflicto que propicie actuar para resolverlo a partir de la exposición de las interrogantes y acciones pertinentes que definen los factores que modifiquen su realidad a fin de predecir con un grado de confianza las estrategias, políticas o modificaciones en ese entorno.

Palabras clave: Complejidad, educación, sistemas complejos y entorno educativo

Abstract

Complexity theory allows systems to be explored based on their composition. It has been used to model organizations, natural and social phenomena, even relationships between countries and individuals. Education as a phenomenon can be considered a complex system and be analyzed through this perspective with the intention of proposing the application of actions that modify that reality. In this work, an educational environment is analyzed from a systemic and complex point of view to point out properties or events where the perception of a possible conflict that encourages action to resolve it arises from the exposition of pertinent questions and actions that define factors that modify their reality to predict with a degree of confidence strategies, policies, or modifications in that environment.

Keywords: Complexity, education, complex systems, and educational environment.

1. Introducción y justificación

Analizar fenómenos sociales, naturales o biológicos a través de sus componentes básicos o partes fundamentales no permitiría comprender la magnitud o alcance de la realidad donde se presentan. Se requiere de un enfoque holístico, donde se contemplen las propiedades comunes en todos los niveles de una realidad (Von Bertalanffy, 1989) para observar los comportamientos e interacciones de todos sus elementos, es decir, desde el punto de vista sistémico.

Para Lara-Rosano et al., (2017), los sistemas afectan y son afectados por una realidad inmediata a ellos, por consiguiente, una acción que llega del entorno (Medio ambiente) al sistema a través de uno o varios de sus elementos produce una reacción en la totalidad; y a la vez esta reacción provoca alguna modificación en la realidad. Los sistemas existen dentro otros sistemas, donde cada uno de ellos tiene sus características y propiedades. Los cuales se relacionan de una manera no lineal, no determinística y dinámica, con la capacidad de adaptarse a su entorno, además, existe un trabajo colectivo entre sus múltiples componentes, es decir, tienen un comportamiento complejo.

La complejidad, como teoría, estudia situaciones o fenómenos atípicos donde se debe considerar todos los factores interrelacionados en un todo para poder definirlo como sistema y lograr atender conflictos inmersos en ellos.

El presente trabajo se enfoca en una revisión de la teoría de la complejidad para distinguir las características y ventajas de su aplicación, así como una intervención en los sistemas complejos para predecir resultados y en base a ellos definir acciones. La propuesta de aplicación de esta teoría es en el campo de la educación que por sus características y composición puede ser definida como un sistema complejo. Para ello se expone una problemática actual donde se busca atribuir los efectos a ciertos factores del sistema y cómo reacciona el entorno ante ellos.

2. De la Teoría del Caos a la Complejidad

2.1 Teoría del caos

El caos nos rodea (Lorenz, 1995). Para profundizar en el tema de la teoría de la complejidad, primero se debe comprender la definición básica de caos para diferenciarla de la acepción a la que se enfocara este trabajo, según la Real Academia Española, (2021) es desorden o confusión, en cambio, la concepción de ese término en el área de las ciencias puede ser definido

como un comportamiento aparentemente errático o aleatorios de sistemas dinámicos o determinísticas.

La teoría del caos supone una revolución científica, se convierte en un área fundamental de las ciencias de la complejidad; esta teoría se enfoca en el proceso de lo que va a suceder en los sistemas dinámicos, en otras palabras, puede considerarse como una filosofía que se encarga de estudiar aquellos sistemas en los que un pequeño cambio puede generar grandes consecuencias, comenta Martínez, (2018).

Por otra parte, para Pidal, (2009) esta teoría trata de atender la relación entre "el orden y el desorden y el orden", esta idea se basa que a partir de un estado de uniformidad ante la presencia de pequeñas perturbaciones se pueden generar acontecimientos futuros impredecibles para llegar en un momento determinado a una estabilidad.

Esta teoría también se relaciona con el efecto mariposa, que al igual describe cómo unos cambios en la condición inicial pueden alterar otra condición en un mediano o largo plazo, por ejemplo, los efectos que pudieran tener el retraso de un vuelo en la cadena de conexiones y cómo los pasajeros se verán afectados, incluso los pasajeros que no están relacionados con dicho vuelo.

Otro ejemplo relacionado es el efecto de un evento de un partido de fútbol en la zona céntrica de una ciudad, en un horario de alto movimiento vehicular, además, que coincide con la hora de salida de la mayoría de los trabajadores en un viernes por la tarde; el impacto de este evento que no se da todos los días, altera el orden del tráfico habitual en ese punto de la ciudad, y de manera gradual va creciendo y extendiéndose hasta llegar a lugares que no están relacionados con el evento deportivo, y en un momento determinado, se presentan acciones que llevan al orden dentro de ese caos, donde los afectados toman decisiones para esquivar las zonas que se encuentra congestionadas o considerar en un futuro posibles acciones para no verse perjudicados por situaciones similares; el efecto mariposa y la teoría del caos ante un pequeño evento causa un resultado caótico, hasta llegar a un estado de equilibrio; como menciona Pidal (2009) del desorden se llega al orden.

La teoría del caos se encarga de estudiar el comportamiento de fenómenos en diversas áreas, entornos o sistemas donde se puede enfocar a lo que posiblemente sucedería, el desorden, esta teoría es una de las bases del surgimiento de la complejidad.

2.2 Teoría de la complejidad

Para Morín (2003), la complejidad es el tejido de eventos, acciones, interacciones, retroacciones,

determinaciones, azares, que constituyen a los fenómenos. El paradigma de la complejidad asegura un marco conceptual que permite establecer relaciones entre diversas disciplinas, promueve y realza un pensamiento metodológico nuevo que aparece como resultado de la organización sistémica, de las interacciones y propiedades no lineales (Barberousse, 2008).

La teoría de la complejidad es una forma de demostrar cómo los sistemas se pueden relacionar en términos de la supervivencia, evolución, organización, reorganización, estabilidad y caos. El centro de interés de la complejidad son los objetos sociales, como las organizaciones, o la sociedad misma, definidos por un gran número de elementos interconectados que interactúan de diversa maneras como afectar, adaptar así como generar nuevos patrones o comportamientos.

De acuerdo con Mason, (2008), para comprender la complejidad de una forma más sencilla, esta puede ser revisada con los trabajos relacionados a este paradigma, desde la perspectiva de las grandes mentes como Adam Smith, Friedrich Engels, Alan Turing, Charle Darwin, entre otros, al contribuir a esta teoría a través del estudio de patrones de adaptación y auto-organización, por ejemplo: el comportamiento de las colonias de hormigas y en la construcción de sus nidos, en entender cómo aprende la mente humana, hasta en el interés por comprender el comportamiento de las redes del cerebro; ellos se enfocaron a observar a la totalidad de los elementos de un entorno, que eran relativamente sencillos, en lugar de centrar su investigación a una sola porción del todo, analizaron a esos pequeños sistemas como un todo, considerándolos como adaptativos y complejos, que a su vez mostraban un comportamiento emergente, evolutivo, organizado y diverso.

En su carácter de novedad, la complejidad implica un rompimiento con los supuestos del pensamiento científico moderno; tratada como ciencia introduce un entendimiento en el que se incorporan problemas con características de desorden, a la no-linealidad, temporalidad, emergencia y auto organización, etc., donde estos problemas se encuentran en una realidad difusa en campos de la materia, de la vida o la sociedad (Rodríguez y Leónidas, 2011).

La aplicación de la complejidad, como paradigma científico de investigación, va en aumento en diversas áreas del conocimiento debido a que centra su interés en fenómenos que no son predecibles.

3. Complejidad y sistemas

La teoría general de sistemas identifica a los sistemas como un fenómeno que ha invadido todos los campos de la ciencia, incluso, el pensamiento del ser

humano. Esta teoría considera que estos sistemas pueden ser socioculturales, biológicos, físicos, tecnológicos, matemáticos, entre otros, además, propone encontrar las propiedades comunes en los sistemas que se presentan en todos los niveles de la realidad, (Von Bertalanffy, 1989). Una de las bases de la complejidad está en el enfoque sistémico.

Todo sistema, sea su origen biológico, físico, social, cultural, etc., no permanecen ni funcionan de manera aislada, sino que pertenecen a una jerarquía conformada por un supra sistema, sistema y subsistemas (Lara-Rosano et al., 2017). Un sistema, explican Ramírez et al., (2019), puede ser identificado como un conjunto de elementos que interactúan entre sí con el fin de lograr un objetivo específico, con influencia mutua para que el comportamiento de cada uno de ellos impacte en otros; asimismo comentan para que un sistema sea concebido como tal, deben identificarse sus partes, las interacciones y las relaciones entre ellas, así como el valor de cada una para sus elementos, también comprender cómo se originan de manera impulsiva para poder simplificar la realidad y llevar a entender los eventos naturales.

Para llegar a una definición exacta de un sistema complejo, lo correcto es preguntarse ¿Qué es? ¿Cuáles son sus elementos básicos? y ¿Cómo está constituido? Las respuestas a estas interrogantes pueden ser una guía para observar la iteración de los sistemas, subsistemas, procesos y demás componentes en el tiempo y espacio del fenómeno, así como la información que se comparte entre ellos. Martínez (2012) comenta que definir un sistema complejo depende de las propiedades del entorno, del fenómeno que se analiza, además, de los comportamientos emergentes que fomentan la retroalimentación, por lo que dar una definición exacta podría considerarse casi imposible puesto que depende del punto de vista de quien establece los factores, criterios y características. Se llega a una definición universalmente aceptada de un sistema complejo a partir de quien lo observa. En un esfuerzo por conceptualizar este tipo de sistema, Maldonado, (2014) comenta que se caracterizan particularmente por una dinámica invariable e impredecible.

Los sistemas complejos están formados por diferentes elementos, también por subsistemas, que interactúan dinámicamente, es decir, que los cambios que se presentan en el tiempo se retroalimentan de manera no lineal, existiendo una relación proporcional entre las causas de unos y los efectos de otros (Ramírez et al., 2019). Son estructuras dinámicas, que evolucionan, se organizan y emergen, compuestas por elementos heterogéneos, donde la función de cada uno tiene repercusión en la vida y comportamiento de todo el sistema. Algunos ejemplos de este tipo de estructura dinámica pueden ser la sociedad, una organización, el gobierno o

economía de un país, un grupo social o la familia, por mencionar algunos.

Una de las principales características de los sistemas dinámicos y evolutivos es la "Emergencia". Esta característica se basa en la aparición de nuevas propiedades y comportamientos que no están contenidos en un sistema en un inicio. Por lo tanto, no pueden predecirse a partir de los elementos, sino en los cambios que se dan en el tiempo entre las entidades. Estas nuevas características o propiedades se pueden presentar de manera gradual o inmediata.

Una propiedad emergente, define Gershenson (2013) es aquella que se encuentra en un sistema, pero no en sus componentes; esta propiedad se hace presente en las interacciones de los sistemas complejos, no son físicas, pero son reales, en el sentido de que afectan causalmente el futuro.

Con esta descripción podemos concluir que un programa educativo de una universidad es un sistema complejo. Él cual tiene propiedades definidas por el entorno, como perfil de ingreso, competencias, asignaturas, docentes, alumnos, perfil de egreso, pero es necesario que se de la relación entre cada uno de ellos para que ocurra la emergencia como nuevos comportamientos, patrones o propiedades, y así surjan nuevas estructuras en diferentes escalas, por ejemplo, nuevas asignaturas, estancias en organizaciones, contratación de docentes más especializados.

Explica Mason, (2008) que, para lograr el dinamismo, la emergencia, y la evolución, se requiere de un poder inercial o impulso basado en el paradigma de la teoría de la complejidad, que se mantendrá y aumentará su dominio o su espacio en virtud de lo que puede entenderse simple y análogamente como el efecto bola de nieve.

En el contexto de un entorno universitario como un sistema que debe dar respuesta a exigencias y necesidades de la sociedad, los impulsos que recibe este sistema (ver Figura 1), serían los factores que provoquen la evolución, reorganización, formación de nuevas estructuras, patrones y comportamientos como políticas, estrategias para revolucionar e incrementar el progreso de la sociedad.

Figura 1. Universidad y el impulso inercial



Fuente: Elaboración propia

Ese impulso permitirá que el sistema complejo mantenga y, probablemente aumente su propio impulso en él, se genere un caos, en consecuencia, nuevos patrones, relaciones o comportamientos, en un momento determinado de esa dinámica se llegará a la estabilidad, a la definición de alternativas para la toma de decisiones que impactan o se convertirán a la vez en otro impulso inercial para un sistema.

4 Teoría de la complejidad y cambio en el entorno educativo universitario.

4.1 Conceptualización de una institución educativa como un sistema.

La educación a nivel superior debe atender las demandas de la sociedad mediante una formación exigente y actualizada en el desarrollo de las destrezas en las nuevas generaciones, adicionalmente, estar certificada a través de las instituciones de educación superior que incluyan el conocimiento especializado y la preparación en el área académica como parte del proceso educativo.

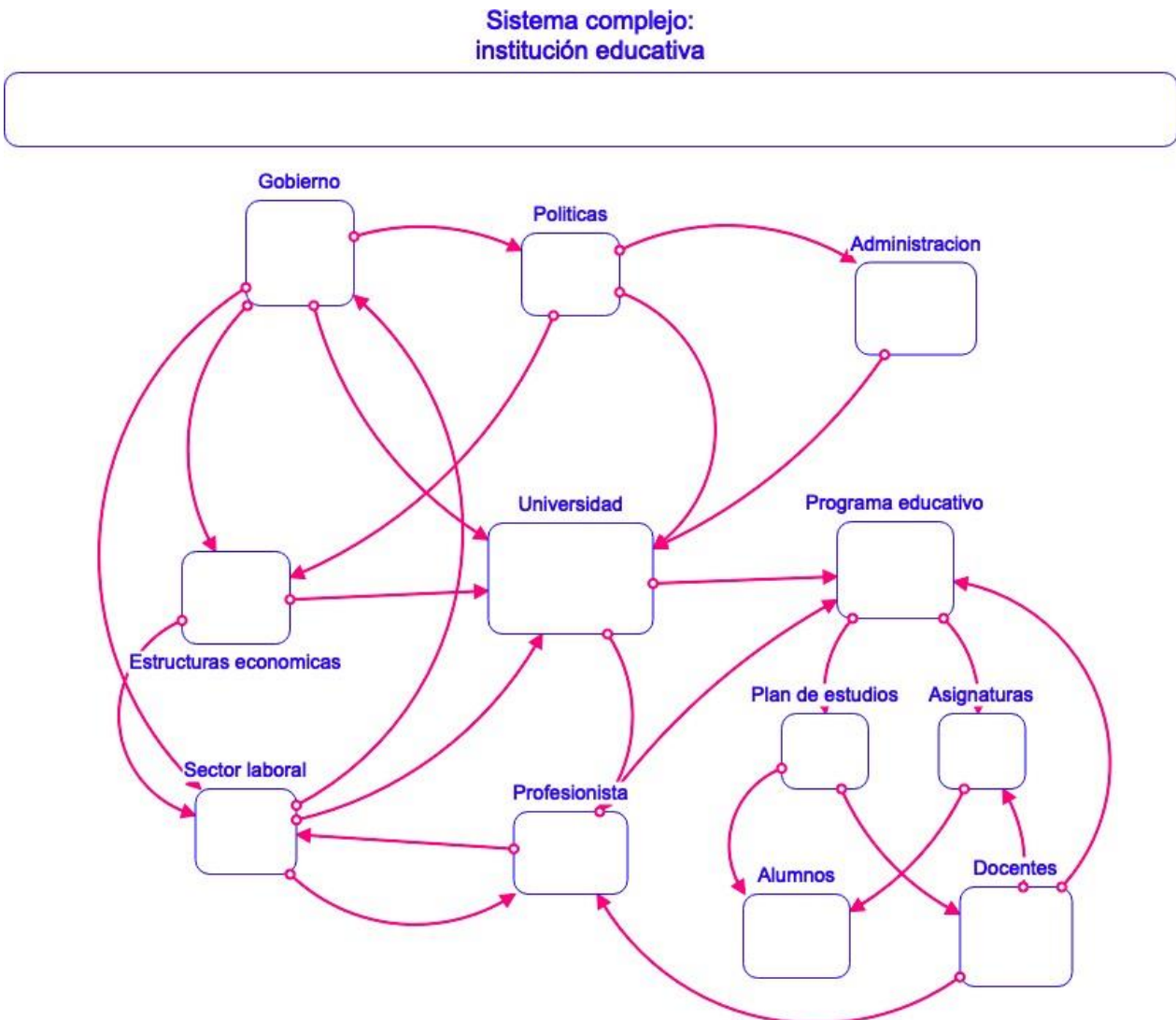
Las instituciones de nivel superior son esenciales y cruciales para el desarrollo de las economías. Estas instituciones se interesan en atender temas como la generación del conocimiento, información y la innovación que va en aumento en relación con los problemas sociales, económicos y su crecimiento.

Los problemas sociales, económicos y políticos, son problemas complejos, sin embargo, no pertenecen a la complejidad desorganizada para ser resueltos por métodos definidos que describen comportamientos promedio (Lara-Rosano et al, 2017); para atender y resolver esos problemas implica que se consideren los factores del entorno y comprender las interrelaciones en un todo sistémico, en un contexto de una complejidad organizada.

A partir de la conceptualización y entendimiento de la teoría de la complejidad se analizará al entorno educativo universitario como un ente complejo o una estructura dinámica organizada. Este entorno, definido como un sistema, contiene elementos que incluyen docentes, alumnos, programas educativos, asignaturas, administración, gobierno y sus departamentos o secretarías de educación, estructuras económicas y organizaciones comerciales o sector laboral, entre otros (ver Figura 2).

La intención de observar a este sistema es para proponer acciones que produzcan cambios en el comportamiento y la dinámica mediante una intervención en grados diferentes con impulsos inerciales pero suficientes para que en cada una de estas áreas afecten causalmente su futuro.

Figura 2. Representación de una institución educativa como un sistema.



Fuente: Elaboración propia. Software utilizado: Stella Architect.

El cambio en cualquier nivel no es solo consecuencia de efectuar variaciones en un solo elemento en particular sin importar que tan poderosa sea la influencia de ese factor, se trata de generar el impulso total en una nueva dirección prestando atención a tantos factores como sea posible en el sistema en su conjunto.

Antes de tomar una decisión habría que preguntarse ¿Dónde debe generar el impulso? ¿Cuáles son los elementos que tienen influencia en todo el sistema? Se debe profundizar en qué se debe modificar y qué tan grande debe ser el impulso.

Para ello, también se deben considerar factores sociales, económicos, políticos, innovadores o motivacionales para sugerir lo que se puede hacer al respecto como elementos de una estructura, dentro del entorno dinámico.

4. 2 La complejidad y el entorno universitario

La educación siempre ha sido objeto de muchos estudios realizados desde el punto de vista emocional, conocimiento, laboral, económico, social, tecnológico, etc.

Algunos temas propuestos por diferentes autores están enfocados al análisis del proceso de enseñanza aprendizaje, el impacto de diversos sectores de la sociedad en la educación, o la influencia de las TIC en la enseñanza o en el aprendizaje, y actualmente los estudios que han surgido por la pandemia por COVID-19, por mencionar algunos.

Hay que destacar que se ha utilizado un enfoque que atiende elementos básicos de una situación o fenómeno para comprender o conocer una porción de una realidad, que permite definir estra-

tegrías centradas en componentes simples, específicos, fundamentales o más especializado, que son características del enfoque filosófico Reduccionista (Martínez et al., 2017).

En cambio, desde el enfoque de la teoría de la complejidad, se busca comprender el todo: el proceso de transformación, cooperación, interacción de las funciones y actividades específicas.

En la Figura 3 se muestra la definición de un sistema complejo que incluye elementos como subsistemas y las variables, que recibirán la información del entorno y estas a su vez lo alimentarán. En esta imagen se observa a cada uno de los componentes del sistema escolar universitario, donde cada uno de ellos incluye las posibles variables o factores que recibirá el impulso o energía para lograr el cambio en toda la estructura.

Para lograr un cambio se requiere que en el sistema cambie como una estructura y su naturaleza sistémica del entorno, de tal manera que proporcione resultados significativos y valiosos.

El sistema podría analizarse desde el cumplimiento de los objetivos educativos, la pertinencia de los programas educativos, el aseguramiento del proceso de enseñanza y aprendizaje, las políticas y estructuras educativas, la importancia de un líder escolar, la planta de maestros, el docente comprometido, el estudiante y la adquisición de cono-

cimientos y habilidades, los procesos educativos, procesos administrativos universitarios.

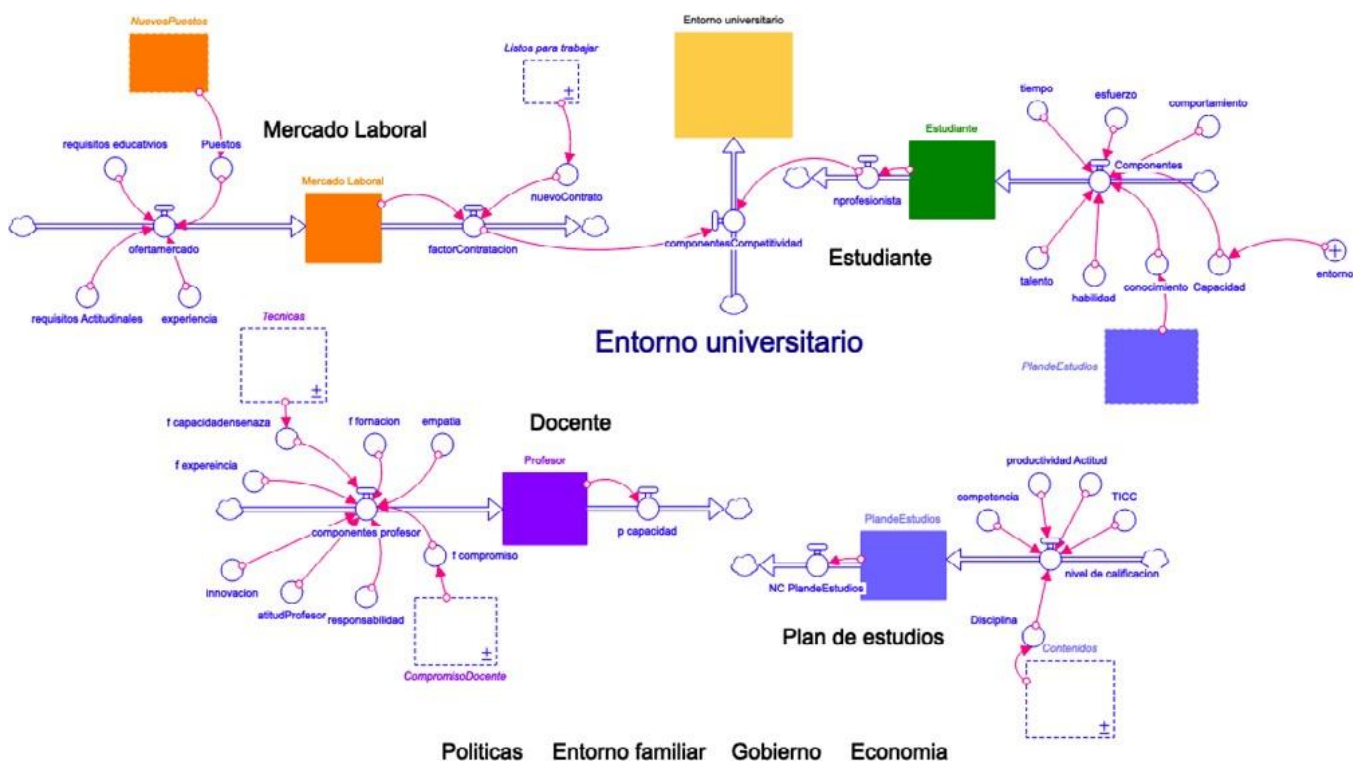
En el ámbito externo, pero parte del mismo sistema, también se debe analizar a las estructuras económicas, el entorno familiar del estudiante, organismos de gobierno y comerciales, etc. Son tantos los elementos que puede contener que para saber exactamente qué es lo que está ocasionando una situación en particular, la mejor oportunidad de éxito en el cambio puede radicar en abordar tantos puntos de vista y niveles como sea posible, la respuesta es: abordar el fenómeno desde una perspectiva sistémica, compleja y dinámica.

4.3 Análisis de un entorno educativo

Las instituciones de educación superior y sus programas deben responder las necesidades de la sociedad, que incluye al gobierno, entorno laboral y económico (OCDE, 2021).

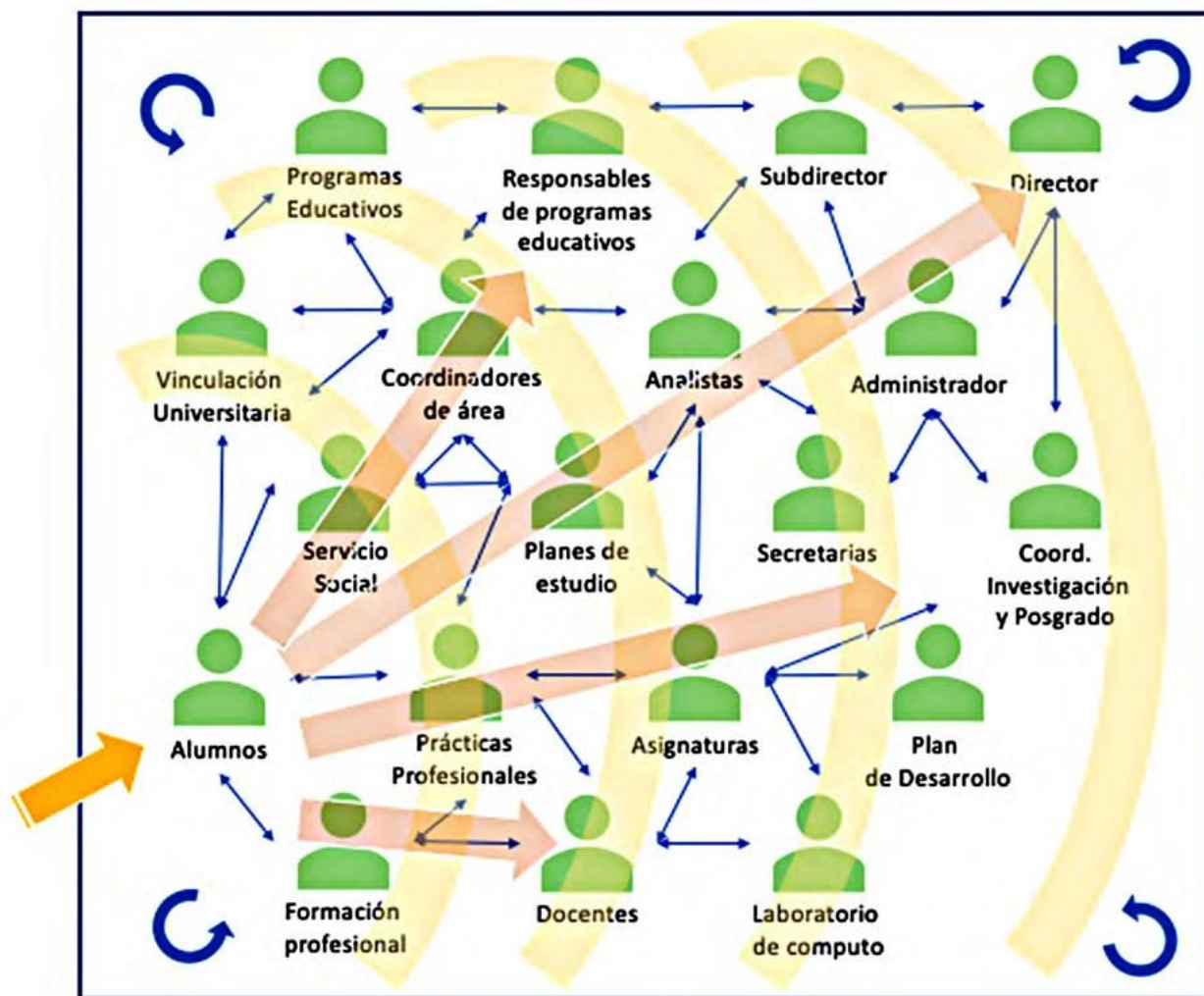
Los cuestionamientos que hay que tener a consideración son: ¿Qué es lo que requiere la sociedad para seguir progresando? ¿Cuáles son los aspectos del entorno institucional universitario e incentivos necesarios para lograr cumplir con las necesidades que dicta la sociedad? ¿Cómo se puede saber qué hacer con cada uno de estos factores si es imposible y equivocado tratar de aislar y evaluar la importan-

Figura 3. Representación del sistema complejo.



Fuente: Elaboración propia. Software utilizado: Stella Architect.

Figura 4. Representación y análisis de un entorno educativo.



Fuente: Elaboración propia.

cia de cualquier factor? ¿Cómo se puede saber en qué dirección debemos intentar impulsar cualquier factor?

Para analizar un entorno educativo, se parte de un supuesto de que una escuela o facultad de una universidad puede ser concebida como un sistema complejo, heterogéneo, dinámico, a partir de la identificación de sus subsistemas como: la dirección, subdirección, la administración, los programas educativos, responsables de programa, coordinadores de área, los planes educativos, y asignaturas.

Otros subsistemas contemplados son las diferentes coordinaciones como investigación y posgrado, formación profesional, vinculación universitaria, prácticas profesionales, servicio social, el equipo de analistas y secretarías, los responsables del laboratorio de cómputo, entre otras, de igual manera se consideran elementos de este sistema a docentes y alumnos.

Todo como el conjunto de elementos que interactúan con un fin, que no deben ser estudiadas de manera aislada, e identificando la influencia que

hay entre ellos en relación al comportamiento y relaciones que se presentan para facilitar el entendimiento de los eventos del sistema.

Después de la revisión realizada al sistema, se plantean las alternativas para decidir cómo generar nueva información. Tal como describe la teoría del caos se debe realizar un pequeño cambio para generar una evolución y emergencia en este sistema; es decir, dar el impulso necesario en ese elemento clave que va a producir los movimientos, que serían los factores que provoquen la evolución, reorganización, patrones y comportamientos como políticas, estrategias, ver la Figura 4.

La imagen anterior aborda un entorno educativo como sistema complejo, el cual contiene los subsistemas y elementos que lo representan. Además, se incluyen las interacciones que se dan entre ellos. Se puede observar que el impulso o energía se dará al elemento clave Alumnos, debido que en la realidad es el factor que provoca los movimientos necesarios en el sistema para generar nuevos acontecimientos.

El hecho de que los alumnos soliciten un servicio, requieran alguna asesoría, o soliciten algo inesperado al sistema, se provocarán los movimientos necesarios para generar las perturbaciones, que a su vez generan resultados impredecibles así como la posible información que alimenta al sistema y al entorno donde está definido. Estos cambios provocados requerirán soluciones emergentes, es decir, soluciones no estructuradas dando pie a la aparición de nuevas estructuras o propiedades.

5. Conclusiones

La educación es un sistema complejo dado a que intervienen muchos aspectos para tratar de comprenderla. Una manera de analizar el fenómeno de educación o entornos educativos es utilizando una metodología inspirada en la teoría de la complejidad. Ya que al analizar sólo sus componentes de manera aislada se perderían las relaciones existentes entre el medio ambiente y los elementos que lo componen, provocando que no podamos observar una fotografía completa del problema estudiado.

La complejidad en el entorno educativo permite identificar a los agentes que intervienen y cómo se relacionan entre ellos, con el objetivo de generar y observar cambios que se dan de manera exponencial, no-lineal, dinámica y emergente. Así como la integración de nuevos subsistemas, grupos o estructuras a fin de permitir una adaptación a los cambios del medio ambiente para lograr una estabilidad y un equilibrio.

La teoría de la complejidad aplicada en el ámbito educativo puede ser usada como una metodología para crear herramientas tecnológicas, software o simulaciones capaces de ayudar al entendimiento de los patrones de comportamiento y las interacciones presentes en el ámbito educativo.

Actualmente, se necesitan nuevas herramientas capaces de reflejar los cambios en el medio ambiente de un ámbito educativo que ayuden a predecir los nuevos comportamientos generados y propiedades emergentes que puedan surgir; esto podría propiciar la participación de los agentes involucrados para el diseño de nuevas políticas educativas o administrativas. Además de estrategias curriculares o la mejora del aprendizaje de manera efectiva en donde actualmente no lo es.

Mediante una intervención masiva y sostenida en todos los niveles del sistema, se podrán conocer las proyecciones como consecuencia de los movimientos para predecir con un grado de confianza la dirección de mejora de los temas relacionados con ese ecosistema. La teoría de la complejidad evita las certezas y promueve la incertidumbre para impulsar un cambio.

Referencias

- Barberousse, P. (2008). FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PENSAMIENTO COMPLEJO DE EDGAR MORIN. *Revista Electrónica Educare*, XII(2),95-113. ISSN:14094258. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194114586009>
- Gershenson, C. (2013). ¿Cómo hablar de complejidad?. *Llengua, Societat I Comunicació*, 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1344/LSC-2013.11.3>
- Lara-Rosano, F., Gallardo, A., & Almanza, S. (2017). *Teorías, métodos y modelos para la complejidad social*. Ciudad de México: COLOFÓN Ediciones Académicas.
- Lorenz, E. (1995). *The Essence of Chaos*. University of Washington Press.
- Maldonado, C. (2014) ¿Qué es un Sistema Complejo? *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*. 14 (29): 71-93, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41438646004>.
- Martínez, C. (2018). Teoría del Caos y Estrategia Empresarial. *Tendencias*, 19(1). 204-214
- Martínez, G. (2012). Sistemas complejos, *Revista.unam.mx*, Vol 13 (4). Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num4/art44/art44.pdf>.
- Martínez M., García, E. Bernal, C. (2017) Reduccionismo, leyes naturales y complejidad diferentes estrategias de investigación y explicación científica. *Scientiae Studia*, Sao Paulo, V 15, núm 2, pag. 243-262.
- Mason, M. (2008). What Is Complexity Theory and What Are Its Implications for Educational Change?. In M. Mason, *Complexity Theory and the Philosophy of Education*. Wiley-Blackwell.
- Morin, E. (2003). *Introducción al pensamiento complejo*, Barcelona, Gedisa.
- OECD. (2021). Los países deben hacer que la profesión docente sea más atractiva desde el punto de vista financiero e intelectual. Recuperado de <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/lospaisesdebenhacerquelaprofesiondocenteseamasatractivadesdeelpuntodevistafinancieroointelectual.htm>.
- Pidal, M. (2009). *La teoría del Caos en las Organizaciones*. Cuadernos Unimetanos.
- Ramirez, M., Lara-Rosano, F., Rosales, R., Manrique, E., Ramirez, H., & Maldonado, G. (2019). Multi-Agent Complex System of Identification of Characteristics and Personality Types and Their Relationships in the Process of Motivation of Students. In G. Jezic, Y. Chen-Burger, M. Kus'ek, R. Šperka, R. Howlett & L. Jain, *Agent and Multi-agent Systems: Technologies and Applications 2019 (13th ed., pp. 143-152)*. Springer. Retrieved 2 November 2021, from.
- Real Academia Española. (2021). *Caos*. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española (23rd ed.).
- Rodríguez, L., y Leónidas, J. (2011). TEORÍAS DE LA COMPLEJIDAD Y CIENCIAS SOCIALES Nuevas Estrategias Epistemológicas y Metodológicas. *Nómadas. Revista Crítica De Ciencias Sociales Y Jurídicas*, 30(2).
- Von Bertalanffy, L. (1989). *Teoría General de los Sistemas*. México: Fondo de Cultura Económica.

La Educación desde una perspectiva de la complejidad

Margarita Ramírez Ramírez

maguiram@uabc.edu.mx

ORCID 0000-0002-4252-4289

Facultad de Contaduría y Administración,
Universidad Autónoma de Baja California

Esperanza Manrique Rojas

emanrique@uabc.edu.mx

ORCID 0000-0003-1928-9353

Facultad de Contaduría y Administración,
Universidad Autónoma de Baja California

Ismael Plascencia López

ismael@uabc.edu.mx

ORCID 0000-003-2860-1417

Facultad de Contaduría y Administración,
Universidad Autónoma de Baja California

Recepción: 17/09/2021

Aceptación: 27/10/2021

Resumen

En el presente artículo se realiza una reflexión sobre el enfoque de la complejidad en modelos educativos, los cuales cada día se alejan de modelos reduccionistas ante las carencias que este enfoque de la ciencia presenta. Se analizan características de un sistema complejo como la emergencia, la autoorganización, que caracterizan a los sistemas complejos. Se destaca la complejidad y sus características, como factores indispensables en un modelo educativo que atienda a las necesidades de educación requeridas en un entorno globalizado, cambiante y complejo que presenta desafíos de manera constante.

El presente artículo parte del análisis del concepto de reduccionismo, que ha sido un método exitoso para alcanzar avances significativos en la ciencia; sin embargo, ante las condiciones actuales, las necesidades de un mundo globalizado, es necesario implementar nuevos modelos educativos que ofrezcan integración de componentes y análisis holísticos de problemáticas para ser atendidas y resueltas.

Se analizan los principios de complejidad y sistemas complejos, para realizar una descripción de un modelo educativo con una perspectiva de la complejidad y paradigmas de complejidad y educación.

Palabras clave: Complejidad, Sistemas complejos, educación.

Abstract

This article presents a reflection on the complexity approach in educational models, which every day move away from reductionist models due to the deficiencies that this approach to science presents. Characteristics of a complex system such as emergence, self-organization, that characterize complex systems are analyzed. Complexity and its characteristics are highlighted as indispensable factors in an educational model that meets the educational needs required in a globalized, changing and complex environment that constantly presents challenges.

This article starts from the analysis of the concept of reductionism, which has been a successful method to achieve significant advances in science; However, given the current conditions, the needs of a globalized world, it is necessary to implement new educational models that offer integration of components and holistic analysis of problems to be addressed and resolved.

The principles of complexity and complex systems are analyzed to make a description of an educational model with a perspective of complexity and paradigms of complexity and education.

Keywords: Complexity, Complex systems, education.

Introducción

Se suele afirmar que con la revolución tecnológica y la globalización el mundo se ha vuelto más complejo. En realidad, el mundo desde siempre ha sido complejo, sin embargo, en los últimos años se reconoce la necesidad de contar con áreas de la ciencia que nos permitan explicar y resolver problemas en los que concurren una gran cantidad de componentes, interacciones, causas y efectos emergentes no proporcionales y transversales, en muchas ocasiones no parametrizables y por tanto difícilmente de ser pronosticables. Las ciencias de la complejidad se han aplicado en la investigación científica, así como en el desarrollo tecnológico, pero sobre todo son una alternativa para abordar y proponer soluciones a los problemas sociales que afectan a nuestro entorno. Esto es, los planes, programas, proyectos deben ser orientados a atender problemas complejos de desarrollo social, en sus distintos ámbitos: económico, social, cultural, educativo, de salud, entre otros. Para abordar de manera efectiva las problemáticas de la comunidad, los programas públicos requieren ser diseñados bajo un enfoque de sistemas complejos. Programas que comúnmente son interdisciplinarios, transdisciplinarios e interinstitucionales, que involucran condiciones complejas de muy diversa naturaleza, que se entrelazan y derivan en fenómenos emergentes más agudos.

Para diseñar estos programas se requiere la Inte-

gración de equipos de investigación y académicos que actúen con una visión sistémica, crítica, creativa y humanista. Se requieren propuestas bajo un esquema de redes de participación colaborativa multidisciplinaria entre sociedad y gobierno. Se deben abordar utilizando herramientas propias para el estudio de sistemas complejos; Sin embargo, no es un cambio sencillo, requiere proyectos y aplicaciones concretas, así como programas específicos y la inversión en infraestructura, recursos humanos, científicos y tecnológicos.

Reduccionismo

En los avances de la ciencia se han dividido y simplificado los fenómenos en sus partes para poder estudiarlos de manera más concreta, a este enfoque se le llama reduccionismo.

El reduccionismo es un enfoque filosófico, en el cual la reducción es suficiente y necesaria para resolver distintos problemas de diferentes áreas de conocimiento.

Este método se ha utilizado de manera exitosa en áreas como la ingeniería, en la que a partir de la construcción de partes independientes se construyen sistemas con funcionalidad esperada. Es el reduccionismo un aliado en la creación de componentes especializados para el diseño de computadoras y dispositivos electrónicos. A pesar de las ventajas que ofrece en el área de ingeniería computacional el reduccionismo, es necesario para el avance y tener interacciones que cambian la funcionalidad. Se reconoce que el reduccionismo ha sido necesario para el desarrollo de la ciencia; Sin embargo, una vez que se han logrado avances en la ciencia ha sido necesario incorporar conceptos de sistemas, y sus interrelaciones y por lo tanto observar a los sistemas complejos.

A pesar de ser muy útil, el reduccionismo tiene sus límites, cuando se analiza un sistema y se reconocen las interacciones entre sus componentes, el reduccionismo se vuelve inadecuado, ya que al separar y simplificar se pierde información y no se consideran los resultados de las interacciones (Gershenson, 2015).

Por otra parte, el reduccionismo consiste en tomar un aspecto de la realidad y en considerarlo como lo característico o lo más importante para el ser humano por lo que se puede llegar a una realidad de lo que se percibe o deduce (Daros, 1991). Sin embargo, en el área de medicina, el reduccionismo ha permitido grandes avances, con estos avances en diferentes especialidades; sin embargo, el reduccionismo es limitado para atender enfermedades complejas, ya que pueden tener causas múltiples, por lo que no es posible tener una sola cura, es necesario atender las diversas causas con diferentes tratamientos. Por lo tanto, en la medicina cada vez más se realizan la atención de enfermedades desde la perspectiva de un sistema complejo.

El reduccionismo se da al tomar posturas restrictivas en relación a la creación y construcción del conocimiento, se da al ser considerado que el todo, no es más que la suma de las partes que lo conforman (Pérez-Tamayo, 2011).

La educación no es la excepción, es necesario visualizarlo con enfoques globales y no solo desde aspectos limitados o específicos.

Reduccionismo en educación

Es posible considerar el reduccionismo en el ámbito académico, expresado a partir de una desagregación conceptual de los contenidos de una disciplina abordada en los distintos niveles educativos (Reyes-Rodríguez, et. al, 2017).

En el área de educación el reduccionismo define que hay una técnica adecuada para aplicar el método enseñanza-aprendizaje; el reduccionismo en el área de educación limita a las estrategias metodológicas, el caso del aprendizaje por competencias es una metodología reduccionista. En la educación la mejor alternativa es integrar estrategias, técnicas, y considerar factores físicos, sociales y culturales, reconocer la diversidad de contextos, variables, actores, hacer el uso de múltiples metodologías, que ofrezcan soluciones efectivas en los procesos enseñanza-aprendizaje. Esta interacción e integración de componentes abre la posibilidad de considerar a la educación como un sistema complejo.

Para analizar las condiciones de un modelo educativo basado en la ciencia de la complejidad, analizamos los conceptos y características de complejidad y de un sistema complejo.

Complejidad

La teoría de la complejidad se ha desarrollado en ciencias y humanidades. La primera se conoce como ciencias de la complejidad, mientras que la segunda se denomina generalmente pensamiento complejo. Las ciencias de la complejidad utilizan lenguajes formales para modelar y simular sistemas complejos. Mientras que el pensamiento complejo construye sus teorizaciones en lenguaje natural (Rodríguez Zoya, L. G. (2020)).

La complejidad, no es un tema único de las sociedades humanas, sino de la naturaleza misma. Podemos considerar que la sociedad es una manifestación de una organización única que permanece ligada a un entorno vivo que integra la naturaleza, la complejidad integra a una realidad perceptible por la conciencia humana, este término puede describir a la realidad e integrar una variedad de elementos y factores, los cuales a su vez están integrados por fenómenos complejos.

Pensar en complejidad es considerar problemas sociales y fenómenos de la naturaleza integrados por

componentes con conexiones diversas, con ciclos impredecibles en el que cada proceso o suceso puede generar situaciones diversas, en el que causas iguales generan resultados diferentes y existen relaciones multidireccionales.

La complejidad se fortalece del desarrollo de la investigación de distintas disciplinas y determina el fortalecimiento de las disciplinas (Nicolescu, sf). Complejidad permite analizar, considerar determinados aspectos de la naturaleza, de la sociedad y del pensamiento, que pueden presentar características y comportamientos que puede clasificarlos como sistemas complejos. La complejidad considera la concepción del universo como un ente, el cual es más que la suma de las partes que lo componen y que es fortalecido por sus componentes y la interacción y relación que se da entre sus partes, son capaces de generar nuevas formas. Este paradigma científico busca conexiones entre investigadores, que trabajan en temas de ciencia de la frontera de diferentes disciplinas (Hayles, 1998).

En las ciencias, es posible considerar complejidad como una forma de pensamiento, como un comportamiento colectivo que lo integran elementos que pueden ser humanos, físicos, situacionales, que conforman a un grupo, átomo, o moléculas que conforman a un objeto, neuronas, bits de computadora, entre otros, las posibles interacciones entre los componentes y los principios de causa efecto que puede tener una relación no lineal entre los elementos, como el efecto mariposa, y propiedades emergentes de los sistemas, entre los cuales cada sistema es mayor a la integración de sus partes.

Sistema Complejo

Para iniciar nuestra reflexión, se analiza a que se refiere el término de sistema complejo, podemos partir del concepto general de un sistema complejo, los cuales están formados por diferentes subsistemas o elementos, que interactúan entre sí de manera dinámica, se modifican con el tiempo, interactúan de manera no lineal, debido a que no hay una relación directa entre las causas y efectos. De acuerdo a Lara (2016) un sistema complejo se caracteriza porque son: Agentes biológicos, psíquicos y sociales, los cuales tienen intenciones u objetivos diversos, dinámicos, con prioridades diferentes y pueden ser contradictorios, de igual manera son agentes que al actuar modifican la realidad y son modificados por ésta, que tienen propiedades emergentes que surgen a partir de las interacciones entre ellos y que presentan procesos de auto-organización, de igual modo presentan estados de caos y horizontes de predictibilidad, integran agentes y colectivos que presentan percepción, homeostasis, acción, adaptación y resiliencia.

Analizaremos estos conceptos de complejidad en un entorno educativo, no antes de realizar una revisión a la conceptualización de diversos especialistas de ciencias de la complejidad de lo que es un sistema complejo. En el análisis de diversas conceptualizaciones de sistemas complejos encontramos similitudes como la interrelación entre sus componentes, interrelaciones no lineales y dinámicas y de estas interacciones surgen nuevas propiedades, las cuales pueden identificar como emergentes.

Mitchell (2009), menciona: Un sistema complejo es un sistema integrado por componentes interrelacionados que no cuentan con un control central, ni cuentan con reglas de operación entre los componentes las cuales originan un entorno colectivo, puede ser el procesamiento de información y la adaptación de sus elementos través del aprendizaje y el avance de estos (Mitchell, 2009). Por su parte Luhmann (2012), expone que un sistema complejo, a partir de la operación, emerge cuando un proceso inicia y es posible la conexión con otros procesos de un mismo tipo y continuar produciendo operaciones del mismo tipo. Lara, expone en su obra que un sistema complejo es una estructura jerárquica de entidades compuestas por subsistemas interrelacionados a varios niveles. Cada uno de estos subsistemas está compuesto por subsistemas interrelacionados a nivel inferior, y así sucesivamente. Una constante que existe es el que las interrelaciones entre todos los niveles son dinámicas y no lineales, en algunos casos circulares, llamadas retroalimentaciones (Lara-Rosano, 2012).

Para Martínez (2013), un sistema complejo es una organización o grupo, que se construye a partir de la interacción de elementos primarios. En estos sistemas, los elementos que lo componen y la interacción que se da entre ellos conducen a comportamientos que en su mayoría no son fáciles de predecir desde un conocimiento base, el efecto de este comportamiento es conocido como emergente (Martínez, 2013).

Por su parte (Álvarez-Buylla & Frank, 2013) expone que un sistema complejo está conformado por elementos interrelacionados, entrelazados, en el que las interacciones propician comportamientos que generan información adicional, que comúnmente están ocultas para el observador. Como resultado de la interacción de los elementos, se generan propiedades reconocidas como emergentes, que no es posible explicarlas a partir de propiedades de los elementos aislados.

En coincidencia con (Álvarez-Buylla & Frank, 2013) (Gershenson, 2007), menciona que el comportamiento de cualquier sistema, es difícil de deducir a partir de solo el comportamiento de las partes que lo componen. Para (Morín, 1994), complejidad no puede reducirse a una idea simple, ni únicamente al término de complejidad.

Una de las características de un sistema complejo, es que es un sistema abierto, que interactúa con el ambiente y que es capaz de establecer relaciones de cooperación o competencia con otros sistemas. Las relaciones que se establecen en un sistema complejo, no solo son interacciones entre sus elementos o participantes, sino también las relaciones que se dan de este sistema con otros sistemas en el entorno. (De Jesús Lara Lozano et al., n.d.)

Es importante concluir que los comportamientos colectivos son impredecibles y no lineales, que la característica más común de estudio en un sistemas complejos es que cuentan con propiedades que pueden reconocerse como emergentes (Boccaro, 2004), esto gracias a la autoorganización que se genera entre sus componentes y que estas propiedades emergentes no pueden ser determinadas por modelos analíticos (Byrne, 1998).

La Educación desde una perspectiva de la complejidad

Considerando las condiciones emergentes de la complejidad, la educación es un tema que debe ser analizado desde esta perspectiva. En este momento la educación a partir de los principios de complejidad es la concepción de un proceso de educación hacia la conciencia de un mundo en el que es posible considerar diferentes opiniones, encontrar contradicciones y aceptar a la educación como un proceso global integrador, con diversidad de. El pensamiento complejo propicia la adquisición de conocimiento a partir del avance en el día a día y la interrelación de los elementos que conforman el proceso. Proceso en el que el aprender trasciende disciplinas, en el que es necesario considerar macroconceptos. Que pueden traspasar áreas de conocimiento a otra, en la que es posible que emerjan nuevas formas de lograr el aprendizaje, con una práctica más sensible, propiciando aprendizaje autónomo, con herramientas y habilidades para integrar el entorno como parte de los constructos del saber. La educación desde una perspectiva de complejidad debe ser pertinente con una visión integradora, desde la comprensión y la construcción de un fenómeno educativo humano, conformado por varias dimensiones, que sea integrador, intercultural, que se de a través de la transdisciplinariedad, que sea posible reconocer el error, que acepte la incertidumbre y la diversidad (De Jesús, et. al, 2007)

Si nos remontamos a los principios de la humanidad encontramos a la educación como una de las bases fundamentales, sobre las cuales las comunidades establecen procesos transformadores en sus hábitos, en sus costumbres, en sus valores y en la adquisición de sus conocimientos. La educación ha sido reconocida como la forma tradicional de la transmisión de conocimientos; Sin embargo nuevas perspectivas del proceso educati-

vo muestran a este como el proceso de construcción de conocimiento a través de experiencias captadas por nuestros sentidos, de acuerdo a (López, 2013), Maturana, señala que el conocer es el hacer del que conoce, y esto está basado en la misma manera de su ser vivo, en su organización (López et al., 2003). Es importante considerar el proceso de autoorganización y reconocer a la educación como un proceso, perfectible, en el que no solo participan los estudiantes y docentes, es un proceso en el cual se involucran alumnos, profesores, autoridades administrativas de las instituciones, investigadores, familiares, políticos, tomadores de decisiones, etc. La educación como poíesis (creación), considerando el contexto en el proceso educativo y todos los involucrados.

Paradigma de la complejidad y la educación

A partir de las nuevas concepciones del proceso enseñanza-aprendizaje en el que el conocimiento se construye a partir de nuevas consideraciones y formas de interacción de componentes, en el que el conocimiento es una realidad en proceso, en la que se considera al sujeto junto a sus sentimientos, actitudes, aptitudes y esto hace un conjunto de seres con características y visiones heterogéneas, surge el concepto de pensamiento complejo.

Desde una epistemología de la complejidad, la educación debe ser abordada a partir de un enfoque sistémico, no lineal, como un pensamiento que avanza en conocimiento, y se desarrolla a partir de los integrantes y condiciones del proceso.

Morín presenta una propuesta educativa en cuanto a complejidad, considerando un conocimiento multidimensional, que es capaz de abordar las problemáticas integrando diferentes disciplinas, aceptando a la incertidumbre, y a la diversidad como elementos intrínsecos de los procesos educativos. (Morín, 1993), expone:

“Los elementos de todo sistema se organizan según una finalidad. La educación es un sistema y como tal plantea el requerimiento de realizar una reflexión sobre el funcionamiento real de sus componentes en interacción con el contexto, teniendo en cuenta su interacción y evolución a largo plazo”

Conforme pasa el tiempo, surgen problemas que propician a la consideración de pensar en nuevas formas de enseñar, esto es la necesidad de enseñar desde un enfoque interdisciplinario, multidisciplinario o transdisciplinario, que permita atender a un problema desde diferentes perspectivas, y poder realizar una solución adecuada, y que se mantenga en vigencia por periodos amplios de tiempo, de igual forma Estrada García (2017) sugiere en relación a los modelos educativos

se requiere fortalecer la autonomía, el emprendimiento, la independencia, el liderazgo, así como la capacidad de los estudiantes de generar su propio conocimiento; que el estudiante sea capaz de autoformarse, de aprender a aprender, a través de una metodología interdisciplinaria. En relación a los docentes, Collado R et al (2018) consideran que hay dimensiones que pueden ser formativas, que los docentes del siglo XXI, deben considerar una educación transdisciplinaria, que permita abordar problemáticas desde diferentes disciplinas, por lo tanto reconocer la multidimensionalidad y el dinamismo que se da en los fenómenos que interactúan en la formación humana.

En adición a lo anterior, se debe avanzar, en ir más allá de la reducción o disyunción de opciones y pensar en conjunto, con el propósito de cambiar lo fragmentado desde una perspectiva transdisciplinaria. Es necesario considerar que la complejidad no busca un conocimiento general, por el contrario, ofrece alternativas para detectar las conexiones, las articulaciones que existen en un sistema, sea cual sea este, aspectos de naturaleza humana, sociedad, cultura, etc.

Por su parte (Flores JH, 2015), expone que la educación en referencia de las diferentes disciplinas requiere de un carácter de diálogo, de comunicación, que sea capaz de salir del área de especialización para confrontarse con otras áreas y que se integren en la verdad. En esta visión epistémica, el conocimiento no es solo la representación de una realidad definida anteriormente, es más bien un proceso que se construye de manera significativa, y con una relación con las áreas relacionadas. El pensamiento complejo permite unir, integrar, construir y vincular conocimientos, los cuales comúnmente están en constante cambio. (Morín, 1994).

Conclusiones

En esta era de la cuarta revolución industrial y globalización en la que el proceso de innovación humana y desarrollo tecnológico ha logrado avances inimaginados, en los que las áreas de conocimiento se han integrado, es sin duda una época con un contexto complejo que requiere realicemos un análisis y diseño de modelos educativos que reconozcan nuevas formas de aprender y que nos apoye en el enfrentamiento de la educación desde un mundo complejo, globalizado, intercomunicado y autoorganizado. Lo cual no es suficiente con el diseño de planes y programas de estudio que ofrezcan el contenido de las nuevas tecnologías y áreas de la ciencia requerida, sino que se promueva un cambio en la integración de nuestros pensamientos y construcciones mentales. Un modelo educativo que no separa a las ciencias exactas y duras de las ciencias blandas, por el contrario que sea capaz de integrar áreas y disciplinas en la concepción y solución de problemáticas

actuales, que se prepare para ser parte de un sistema, que se combine lo cuantitativo con lo cualitativo y que se promueva procesos de cambio e integración de áreas y autoorganización. Que sean considerados elementos que lo conforman como: docentes, estudiantes, instituciones educativas, planes y programas de estudio, instituciones gubernamentales, estructuras económicas, políticas, entornos laborales y sobre todo la interacción entre cada uno de estos componentes.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez-Buylla, E. y Frank H. A. (2013). El Centro de ciencias de la complejidad de la UNAM: Piedra de roseta para la ciencia en México, *Interdisciplina*, I (1), 171-180.
- Byrne, D.S. (1998). *Complexity Theory in the Social Sciences: An Introduction*. Routledge
- Collado R. et al. (2018) L F. Educación transdisciplinar: formando en competencias para el buen vivir. Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação, Rio de Janeiro, v. 26, n. 100, p. 619-644, Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/s0104-40362018002601487>
- De Jesús, María Inés, Andrade, Raiza, Martínez, Don Rodrigo, Méndez, Raizabel Re-pensando la Educación desde la Complejidad. *POLIS, Revista Latinoamericana* [en línea]. 2007, 6(16), 1-13[fecha de Consulta 7 de noviembre de 2021]. ISSN: 0717-6554. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30501602>.
- Daros WR, (1991), Aprendizaje y educación en el contexto del humanismo., *Revista española pedagógica* [en línea] ISSN 2174-0909 recuperado de: <https://revistadepedagogia.org/wp-content/uploads/2018/03/4-Aprendizaje-y-Educaci%C3%B3n-en-el-Contexto-del-Humanismo.pdf>
- Estrada García T, A. (2017); Respuesta a la matriz productiva desde la educación en ciencia, tecnología y sociedad (ECTS) y la metodología sistémica. *Revista Arbitrada del Centro de Investigación y Estudios Gerenciales*, [s. l.], v. 5, n. 27, p. 236-249., sept. 2017. Recuperado de: <https://goo.gl/aid1Qd>.
- F. Lara. (2016). Las ciencias de la complejidad en la solución de nuestros problemas sociales. *Sistemas, cibernética e informática*, Vol. 36, 50. Recuperado: <http://www.iiis.org/CDs2016/CD2016Spring/papers/CB076IQ.pdf>
- Flores JH (2015). Complejidad y educación. Repositorio Digital de la Ciencia y cultura de El Salvador, REDICCES, Editorial Universidad Don Bosco.
- Gershenson, C. (2007). Design and control of Self-organizing Systems. CopIt ArXives.
- Gershenson (2015), Reduccionismo: sus ventajas y sus límites, *Investigación y Ciencia* <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/34/posts/reduccionismo-sus-ventajas-y-sus-limites-13230>.
- Hayles, K (1998). *La evolución del caos. El orden dentro del desorden en las ciencias contemporáneas*. Barcelona. Gedisa
- Lara-Rosano, F. (2012). *Teoría, métodos y modelos de la complejidad social I*. Seminario de Investigación. CCADET.
- López Melero, M.; Maturana, H. y et al. (2003), *Conversando con Maturana de educación*. Málaga, España: Ediciones Aljibe.
- Luhmann, N. (2012). *Introduction to Systems Theory*. Polity Press.
- Martínez, G., Adamatzky, A. & Alonso-Sanz, R. (2013). Designing Complex Dynamics in Cellular Automata with Memory, *International Journal of Bifurcation and Chaos* 23(10), 1330035 -131. Recuperado de <http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218127413300358>.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour of our USA*: Oxford University Press.
- Morin, E. (1993). *El método I. Naturaleza de la naturaleza*. Madrid. Cátedra.
- Morin, E. (1994). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona, SPAIN: Gedisa.
- N. Boccará "Modelling Complex Systems", (Springer-Verlag, 2004).
- Nicolescu, B. (s.f.). *La transdisciplinariedad*. Manifiesto, Ediciones Du Rocher.
- Pérez-Tamayo, R. *Acerca de Minerva*. 3. ed. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2011.206 p.
- Reyes-Rodríguez, Rondero-Guerrero, Acosta-Hernández, Campos-Nava, Torres-Rodríguez (2017), *Reduccionismo Didáctico y creencias de profesores acerca del teorema de Pitágoras*, UNESP, <https://doi.org/10.1590/1980-4415v31n59a06>
- Rodríguez Zoya, L. G. (2020). Ciencia, política y problemas complejos. *Revista Ciencias De La Complejidad*, 1(1), 37-49. <https://doi.org/10.48168/cc012020-003>
- Saldarriga, Aguirre. (2014). *Sistemas de innovación como sistemas complejos*. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano. Recuperado de: <https://books.google.com.mx/books?id=Vfc-DwAAQBAJ&pg=PA73&dq=Sistemas+complejos+adaptativos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKewjVvcvf3JDeAhWSDuwKHSrMCsUQ6AEIM-TAC#v=onepage&q=Sistemas%20complejos%20adaptativos&f=false>.

Complejidad Social y Educación Superior. Análisis Crítico Basado en Agentes

Eduardo Ahumada-Tello

eahumada@uabc.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1698-5126>

Universidad Autónoma de Baja California

Karen Ramos

karen.ramos38@uabc.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-5760-1419>

Universidad Autónoma de Baja California

Recepción: 30/09/2021

Aceptación: 20/10/2021

Resumen

El presente artículo tiene como finalidad llevar a cabo el desarrollo de una propuesta de análisis crítico de la evolución social y la educación desde una perspectiva de complejidad. Para esto, se inicia con la conceptualización del conocimiento como valor intrínseco de los individuos y las organizaciones, por lo que su desarrollo va gestando la construcción y comprensión de lo que se conoce como "Sociedad del Conocimiento". Se hace una aproximación teórica sobre los procesos evolutivos que afectan a la sociedad y como estos dan paso al uso de la tecnología y la innovación en este nuevo orden social que finalmente impacta en la educación. Así mismo, se lleva a cabo el desarrollo de un caso de estudio utilizando agentes para evaluar el proceso de resolución de problemas en la Sociedad del Conocimiento 5.0 en una institución de educación superior, esto ejemplifica la necesidad de abordar el estudio con un enfoque de complejidad, eliminación de entropía y sostenibilidad. Cabe señalar que en este caso, los agentes (profesor y alumno) utilizan principios BDI y se apegan a la biblioteca de Sakellariou (2008). Finalmente se observa que, bajo los parámetros ingresados de manera empírica, aproximadamente un 15 por ciento llega a la generación de conocimiento, se debe considerar que este resultado puede variar si las instituciones definen políticas y acciones a tomar con el fin de incrementar la motivación y disposición de los estudiantes hacia el proceso de creación de conocimiento.

Abstract

The purpose of this article is to develop a proposal for a critical analysis of social evolution and education from a complexity perspective. For this, it begins with the conceptualization of knowledge as an intrinsic value of individuals and organizations, so its

development is conceiving the construction and understanding of what is known as the "Knowledge Society". A theoretical approach is made on the evolutionary processes that affect society and how these give practices to the use of technology and innovation in this new social order that ultimately impacts education. Likewise, the development of a case study is carried out using agents to evaluate the problem-solving process in the Knowledge Society 5.0 in a higher education institution, this exemplifies the need to consider the study with a complexity approach, entropy elimination and sustainability agenda. It should be noted that in this case, the agents (teacher and student) use BDI principles and adhere to the Sakellariou library (2008). Finally, it is observed that, under the parameters entered empirically, approximately 15 percent reaches the generation of knowledge, it should be considered that this result may vary if the institutions define policies and actions to take in order to increase motivation and disposition of students towards the process of knowledge creation

Palabras Clave: Sociedad del Conocimiento 5.0; Complejidad; Agentes; BDI

Keywords: Knowledge Society 5.0; Complexity; Agents; BDI

Introducción

El desarrollo de las ciencias computacionales ha logrado mejorar las herramientas que se pueden utilizar para abordar para tratar, primero de definir, conceptualizar, diseñar una aproximación metodológica, construir y comprender un determinado problema social. En el crecimiento y evolución de los grupos sociales, ha aparecido en tiempos recientes, un nuevo valor que cada individuo, organismo y gobierno buscan: el conocimiento como eje fundamental que provea elementos de competitividad y que mejoren el desempeño de los organismos y las empresas de un espacio determinado o de una economía en particular (Minati, 2016).

En este documento se abordan los temas de evolución del grupo social, las implicaciones que esto tiene para la sostenibilidad de las estrategias que permitan ampliar el periodo de influencia que este grupo pueda desarrollar. También se lleva a cabo un análisis de los constructos de Sociedad del Conocimiento 5.0, Educación 5.0 y su importancia para aprovechar las condiciones actuales que se presentan en un ambiente global (Zhang et al., 2021).

En la sección del desarrollo de la metodología se explica el uso de la herramienta de casos de uso y de etnografía, así como la determinación que el estudio por realizar será en la Universidad Autónoma de Baja California bajo parámetros empíricos elegidos aleatoria-

mente. Estos datos dan pie al desarrollo de un modelo inicial en la herramienta NetLogo que permite predecir el resultado de la aplicación de condiciones iniciales empíricas, acciones condicionadas y resultados obtenidos, esto obedeciendo al modelo de Agentes BDI que son explicados durante las referencias teóricas en el documento.

El documento presenta entonces una serie de pasos que pueden resumirse de la siguiente manera:

- I. Definición de los conceptos teóricos que sostienen la relación entre evolución social, sociedad del conocimiento, sociedad del conocimiento 5.0, educación 5.0.
- II. Metodológica de estudio de casos aplicado al desarrollo de datos empíricos.
- III. Modelo de agentes BDI basado en la complejidad inherente al proceso educativo
- IV. Conclusiones y propuestas futuras

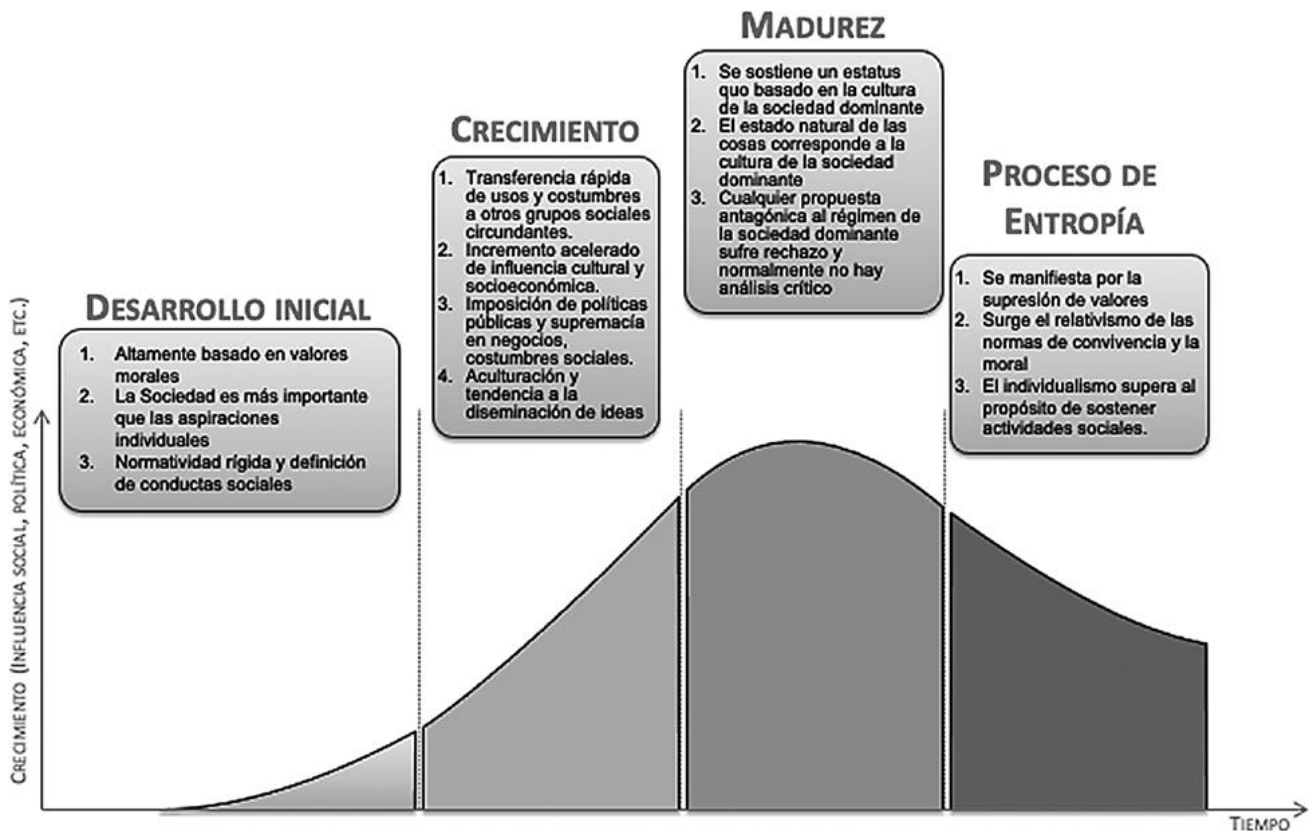
Aproximaciones teóricas

a. Evolución social

La evolución natural de un grupo social involucra un crecimiento similar al de un producto. En sus diferentes fases se construyen las bases y fundamentos morales, sociales, económicos, políticos y comerciales para la interacción entre sus miembros y sus pares. Esta primera fase, se define en que es lo que sucederá en el futuro próximo, que es en donde se presentará una interacción de alto nivel con otros grupos sociales circundantes, siendo por consecuencia la segunda parte, en la que por correspondencia crece su nivel de influencia con los demás. En la parte tres, esa influencia tiende a mantenerse por un periodo variable y que depende de la manera en que se logra perpetuar todo el fundamento ideológico-político entre sus agentes interesados (Omodeo, 2019). Finalmente, ocurre un fenómeno natural entrópico que ocasiona que el entramado social pueda debilitarse e iniciar un proceso de degeneración y disminución de su cohesión social así como su relación con pares (Diamond, 1997). Este proceso se ilustra en la Figura 1

Cada fase indicada en la Figura 1, indica las características de las etapas evolutivas mencionadas. En ello se observa que a partir de la conformación de un grupo social, este pasa por varias transiciones que le llevan a desarrollar su propia estrategia para proyectar una permanencia sostenible y sustentable en el ámbito regional y global. Bajo estos conceptos, es factible predecir el desarrollo y la etapa de influencia que un grupo social tiene internamente y además que implementa hacia sus vecinos

Figura 1. Evolución de los grupos sociales



Fuente: Elaboración propia

locales, regionales y globales. Ante esta disyuntiva, sería normal observar una disminución de los efectos e influencia en la evolución social a través tiempo. Esto provocaría que una sociedad determinada pueda ser sustituidos por otra que se encuentren en una fase con mayor cohesión social, como se observa, este proceso emula de manera casi idéntica al ciclo de vida del producto, lo que permite detectar un posible modelo inicial probado en otro dominio del conocimiento que se puede transferir y aplicar para el estudio de la evolución de las sociedades y encontrar elementos claves que facilitan el análisis crítico orientado a la prospectiva social (Skorodumova et al., 2016).

b. Sociedad del conocimiento

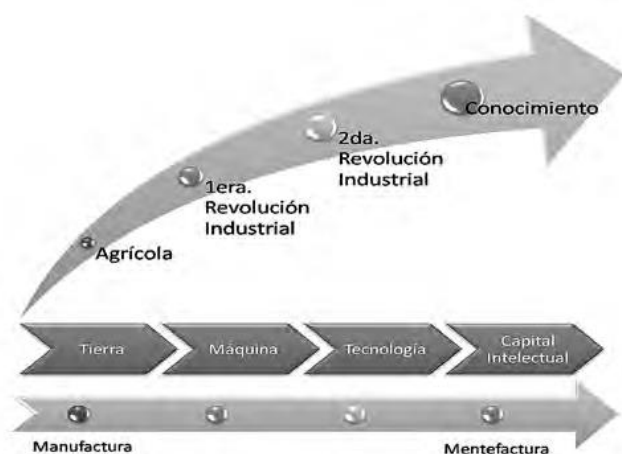
Uno de los fenómenos mas notables en los que han incurrido los grupos sociales modernos para mantener durante el mayor tiempo posible su permanencia como líderes socioeconómicos y en esta tendencia, la posibilidad de generar una influencia sostenible sobre sus miembros y sus pares, es la revolución tecnológica de la sociedad. Desde los primeros pasos cuando los procesos de producción estaban basados en los recursos naturales y en la

fuerza física de los habitantes, hasta el momento actual en el que se mantiene una permanente actitud innovadora y emprendedora para diversificar los medios de producción que actualmente se basan en el conocimiento (Castells, 2002).

Esta tendencia enfocada en construir puentes entre los procesos productivos que se fundamenten en la creación de valor a partir del conocimiento no es nueva. Anteriormente se ha logrado determinar que este *viaje* social tiene sus orígenes en culturas antiguas y que se mantiene como una conducta repetible y permanente en el surgimiento constante de nuevas alternativas culturales, políticas, sociales y económicas para sostener la existencia de la especie humana (Diamond, 1997).

Es bajo esta perspectiva, que tradicionalmente podemos encontrar un avance similar y relacionado entre si, con la evolución de los grupos sociales y su manera de crear opciones cada vez mas tecnificadas de los medios de producción a los que se tenga acceso. Es por ello que en la Figura 2, se identifica rápidamente este fenómeno aplicado a la era moderna. Donde se puede detectar sin problema alguno, el momento histórico en el cual se modificaron los medios de producción central para el desarrollo de la sociedad moderna.

Figura 2. Representación evolutiva de la sociedad del conocimiento



Fuente: Elaboración propia con base en (Villarreal, 2006)

Pero no hay que olvidar que este fenómeno es también parte de la historia de la humanidad, el desarrollo de avances tecnológicos y la dependencia en el conocimiento no es exclusivo de nuestra era. La construcción de chinampas como medio de producción agropecuaria en el lago de Tenochtitlan es un ejemplo fehaciente de la importancia del desarrollo tecnológico aplicado a recursos limitados y aprovechando al máximo las condiciones que se tienen. Existen muchos otros ejemplos: la construcción de las pirámides de Egipto, los jardines colgantes de Babilonia, los acueductos romanos, el sistema de conteo administrativo implementado por los Incas para mantener supervisada su producción agropecuaria, el desarrollo matemático y astronómico de los Mayas y de los árabes, el descubrimiento de la pólvora en China, el autosuministro de agua por parte de los aborígenes australianos. Y un sinnúmero de ejemplos que manifiestan que el ser humano como individuo y como miembro de un grupo social, siempre se encuentra a la búsqueda de aprovechar los recursos que tiene a su alcance y para lograrlo tiene la tendencia permanente a utilizar medios innovadores y tecnológicos que le permitan hacer esto de manera eficiente (Diamond, 1997).

c. Sociedad del conocimiento 5.0

Al enfocar este trabajo en el desarrollo moderno, es importante hacer referencia al surgimiento del concepto de Sociedad de Conocimiento 5.0, este surge principalmente en Japón y hace referencia a una nueva dinámica y enfoque que se sustenta en la tecnología y su relación directa con el estado de bienestar en una sociedad específica.

La tecnología moderna, basada en elementos electrónicos está cada vez más presente en todos los sectores de la sociedad, por lo que hoy en día varios tecnologías y herramientas digitales en la enseñanza, en el comercio, los servicios y en los más variados sectores de la sociedad se han convertido en una realidad permanente y trivial. La tecnología cambia a pasos agigantados y de la misma manera, se está generando una cantidad impresionante de información que mejora la predicción de comportamientos individuales [compra, venta, compromiso personal y familiar, etc.], como sociales [tendencias políticas, movimientos sociales, promoción de leyes y fundamentación del cambio en el entorno geopolítico global, etc.] (Skorodumova et al., 2016).

Un aspecto importante a considerar es que la industria/sociedad 4.0 y la 5.0 están relacionados con las revoluciones industriales y tecnológicas, por lo que la sociedad 4.0 es un producto de la cuarta revolución industrial, mientras que la sociedad 5.0 se ve como una evolución en proceso. Esto influye en todos los términos y conductas comunes, como en la educación, la cultura, los negocios, los valores fundamentales de las relaciones humanas y las leyes que protegen las actividades comerciales, las políticas públicas y las consideraciones que surgen para el ajuste de los valores morales, entre otros. Para diferenciar lo más asertivo posible las implicaciones de estos dos conceptos, es recomendable que puntualicemos cuáles fueron los advenimientos de cada uno de estos fenómenos (John et al., 2020).

La cuarta revolución industrial, también llamada Industria 4.0 o Sociedad 4.0, está marcada por avances tecnológicos como:

- Robótica
- Comunicación digital
- Almacenamiento en la nube
- Internet de las Cosas

Cuando pensamos en los frutos cosechados por estos avances tecnológicos, aquí es donde comenzamos a entender en qué consiste el concepto de Sociedad 5.0. Por lo tanto, la revolución tecnológica y digital vivida en Sociedad 5.0 está guiada por avances tecnológicos como:

- Big data
- Ciudades inteligentes
- Educación 5.0
- Casas inteligentes
- Medicina robotizada
-

Retomando el proemio de esta sección, en donde se establece que el origen conceptual de la So-

ciudad del Conocimiento 5.0 y sus subsecuentes lineamientos, es en Japón, en donde a partir de 2016 se establece un plan de inversión gubernamental nombrado "Quinto plan básico de ciencia y tecnología", en donde el gobierno enumera una serie de políticas e innovaciones que le país debe elaborar de manera anual. Es en este plan en donde surge el concepto de Sociedad 5.0. Con esto, se pretende que, mediante el uso de la tecnología, se cubran necesidades esenciales como la salud, el bienestar social, la asistencia médica de emergencia, la paz, el trabajo, entre otros, haciéndolo extensivo a toda la población mundial, no solo a los de mejores ingresos, tanto individuales como nacionales. Esta iniciativa ha sido analizada por otros países y poco a poco se va formando un nuevo hito evolutivo social.

Algunos de las problemáticas que fueron mencionadas por el gobierno japonés se pueden enumerar en la tabla 1, donde se pone de manifiesto la necesidad de mejorar el entorno social que conlleve a solucionar problemas que ocasionan polarización entre los pueblos y las personas.

Tabla 1. Resolución de Problemas en la Sociedad del Conocimiento 5.0

Problemas	Soluciones
Mayor demanda de energía	Reducción de gases de efecto invernadero
Mayor demanda de alimentos.	Reducción de residuos y aumento de la producción.
Competición internacional	Industrialización saludable y renovable
Concentración de ingresos y riqueza	Redistribución de ingresos y alivio de la pobreza

Fuente: (Suki Desu, 2018)

Por tanto, según los creadores de este concepto en el gobierno japonés, la tecnología debe utilizarse en el bienestar social, la distribución equitativa y justa de la renta y la riqueza, la reducción del impacto y daño ambiental, buscando, de esta manera, promover la igualdad social, el bienestar ambiental y la longevidad de la población y de la sociedad.

d. Educación 5.0

En el ámbito educativo y adicionando el bienestar social que promueve esta nueva revolución tecnológica moderna, se prevee que la educación sea impactada y transformada de una manera positiva y con la expectativa de que también sea sostenible. Esto se debe a que, en los nuevos modelos educativos a lo que se le llama Educación 5.0, toma

en cuenta el bienestar psicoemocional de los estudiantes y de la comunidad académica, docente y administrativa en general (Macintyre et al., 2020).

Es de esperarse que en este nuevo concepto se incluyan conceptos ambientales, enfoque en valores individuales y sociales, incremento de la participación cívica, inclusión, diversidad, empatía con las minorías y aceptación de diferencias, amplitud del estudio analítico crítico fundamentado en procesos científicos entre otros y utilizando recursos tecnológicos que ya se encuentran en operación actualmente (Bashiri et al., 2017).

II. Metodología de estudio de caso

La elección de esta metodología de investigación cualitativa, se debe a su función de ayudar a comprender con profundidad las dinámicas presentes dentro de escenarios individuales y a descubrir nuevas relaciones y conceptos en ellos, su aplicación se enfoca en la comprensión más que en la comprobación o validación de presuposiciones previas (Bernal, 2012).

La etnografía es la rama de la antropología dedicada a la observación y descripción de los distintos aspectos de una cultura o pueblo determinado, como el idioma, la población, las costumbres y los medios de vida (Harrison et al., 2020). Todo ello con la finalidad de lograr comprender el fenómeno que se estudia, aplica a la actividad de generar un constructo basado en esta metodología.

Los estudios de caso son una metodología cualitativa similar a la etnografía. Los investigadores de estudios de caso se enfocan en un programa, evento o actividad que envuelve individuos más que a grupos de individuos. Existe en ello también un interés en describir el proceso más que en identificar patrones de conducta exhibidos por el grupo (Creswell, 2002). Los objetivos que se persiguen en la investigación cualitativa con la aplicación de casos de estudio son los siguientes:

- Analizar el fenómeno existente sobre la concepción de agentes y sus características de Creencias (B), Deseos (D) e Intenciones (I), aplicados a un problema sustentado en el desarrollo de la sociedad del conocimiento 5.0 y su proceso educativo correspondiente.
- Identificar los elementos y factores que determinan el desarrollo de la sociedad del conocimiento 5.0 específicamente en el ámbito educativo.

Bajo estas finalidades, se propone dar inicio a la construcción de una línea de investigación que aborde los temas relacionados con la generación de conocimiento, desarrollo de sociedades que respondan a la evolución social natural de cada grupo y que, mediante

el uso de tecnología, innovación e investigación mejoran las condiciones para manejar un futuro sostenible desde una apreciación basada en la complejidad de las interacciones que se presenten.

III. Sistemas Complejos basados en Agentes

a. Caso de estudio

Los sistemas complejos exhiben propiedades que surgen de la interacción de sus partes y que no se pueden predecir a partir de las propiedades independientes que estas posean (Kapsali et al., 2021). Estos sistemas constan de muchos componentes o partes diversos y autónomos pero interrelacionados e interdependientes vinculados a través de muchas interconexiones, por lo tanto, no pueden describirse con una sola regla y sus características no se pueden reducir a un nivel de descripción por el elevado número de ellas. Es necesario hacer un análisis en profundidad de sus propiedades y características específicas para mejorar el entendimiento de su comportamiento (Gilbert & Troitzsh, 2008; Wooldridge & Jennings, 1995).

El propósito de modelar un programa educativo es que a través de este proceso el investigador sea capaz de identificar los elementos que se pueden intervenir para incrementar la calidad de los resultados esperados del mismo. En este contexto, en esta sección del documento se tiene como objetivo representar el proceso educativo y de investigación en Instituciones de Educación superior a través del análisis de los elementos en una investigación aplicada en la Universidad Autónoma de Baja California en Tijuana México. Los agentes y variables propuestos e involucrados en esta investigación, tienen los siguientes agentes y variables en este modelo propuesto (Ahumada-Tello et al., 2011, 2018; Ahumada-Tello & Castanon-Puga, 2016; Diamond, 1997; Suarez & Castañón-Puga, 2013):

Tabla 2. Resolución de Problemas en la Sociedad del Conocimiento 5.0

Agentes	Variable de estudio
Estudiantes, Profesores y Programas	Proceso enseñanza-aprendizaje
Investigación, desarrollo tecnológico, innovación	Investigación y desarrollo
Gestión de recursos, tiempos y personal	Gestión
Ambiente y agentes externos	Interesados

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se clasifican a los agentes en cuatro categorías, pero con un total de diez diferentes entidades que se dividen en: 1. Proceso enseñanza-aprendizaje; 2. Investigación y desarrollo; 3. Gestión; y, 4. Ambiente. Se propone entonces analizar a los involucrados en el proceso desde los participantes directos en la transferencia del conocimiento, la investigación, la gestión y los interesados en el resultado final.

b. Agentes y complejidad

El término agente es muy utilizado, por varios investigadores, estudiantes y profesores de diversas áreas del conocimiento. Por lo general, se usa este término para referirse a un sistema informático que, además de tener propiedades de conducta y comportamiento, se conceptualiza o implementa utilizando conceptos que generalmente se aplican a los humanos (Wooldridge & Jennings, 1995).

Por ejemplo, en inteligencia artificial es habitual caracterizar a un agente utilizando nociones sociales, como conocimiento, creencia, intención y obligación. Algunos investigadores incluso han considerado incluir agentes emocionales. Otra forma de dar a los agentes atributos similares a los humanos es representarlos visualmente (Gilbert & Troitzsh, 2008).

Este es un enfoque basado en el estudio de las actitudes mentales y aborda los problemas que surgen al intentar utilizar la planificación tradicional en situaciones que requieren reactividad en tiempo real. La "B" significa Creencias que representan el estado informativo de un agente, es decir, lo que sabe sobre sí mismo y el mundo. La "D" significa Deseos o metas son su estado motivacional, es decir, lo que el agente está tratando de lograr. Un agente típico tiene el llamado conocimiento procedimental constituido por un conjunto de planes que definen secuencias de acciones y pasos a realizar para lograr un determinado objetivo o reaccionar ante una situación específica. Finalmente, la "I" significa intenciones que representan el estado deliberativo del agente, es decir, qué planes ha elegido el agente para su eventual ejecución (De Camargo et al., 2020; Rovbo & Ovsyannikova, 2020).

c. Modelo computacional

En este documento se incluye una propuesta inicial para la simulación basada en agentes de un modelo educativo utilizando las características de agente BDI (Ahumada-Tello & Castanon-Puga, 2016).

Creencias: El modelo asume que la facultad tiene un número de profesores de tiempo completo acorde con el número de estudiantes, además

cuenta con la infraestructura suficiente. Al final se asume que la escuela cuenta con aulas, laboratorios de computación, movilidad académica, prácticas, servicio social, pasantías y actividades culturales y deportivas. El profesor horario de trabajo. Para el docente: horas docencia, investigación, gestión y estrategias. Este último considera que cuentan con formación profesional y pedagogía para transmitir la competencia como facilitador del aprendizaje de los estudiantes. Para los estudiantes: la motivación (**student-mot**) y la disposición al estudio (**student-disp**) dependen tanto de su interacción con los profesores como entre ellos.

Deseos: Los objetivos de la simulación son aumentar la capacidad de mejorar el aprendizaje y la generación de conocimientos por parte del alumno. Asumimos que cuando el alumno logra las habilidades de aprendizaje también está generando conocimiento, esta es una medida por encima del 90% de las competencias.

Intenciones: Las acciones a realizar por los agentes son: Estudiante: **student-learning** (estudiante-aprendizaje), **student-knowledge** (estudiante-conocimiento); Profesor: **r-professor** (investigación), **m-professor** (gestión), **t-professor** (enseñar). Las intenciones anteriores cubren los requisitos para que el docente transmita las habilidades necesarias que permitirán la generación de conocimiento

En la Tabla 3, se describen los elementos del proceso educativo que se consideran para realizar el proceso de programación del modelo basado en agentes BDI utilizando la herramienta NetLogo y estableciendo valores iniciales para la simulación.

Tabla 3. Datos iniciales, acciones y salidas del modelo BDI educativo

Datos iniciales	Acciones	Salidas
Student Qty: 150	t-professor: 20	student-learning
Professor Qty: 15	r-professor: 8	knowledge-generation
Time: 80 (days)	m-professor: 12	
	student_disp: 60 student_mot: 60	

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3, se describen los elementos del proceso educativo que se consideran para realizar el proceso de programación del modelo basado en agentes BDI utilizando la herramienta NetLogo. Así mismo, se muestran los elementos que afectan el proceso y los resultados esperados al combinarse las acciones tomadas por profesores y estudiantes.

Siempre m-profesor + r-profesor + t-profesor debe ser igual a 40 (Cantidad de horas que trabaja

Figura 3. Acciones a tomar en el proceso de simulación

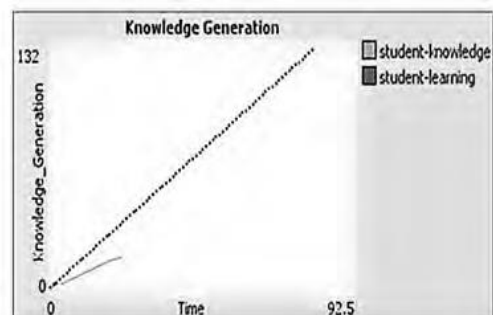
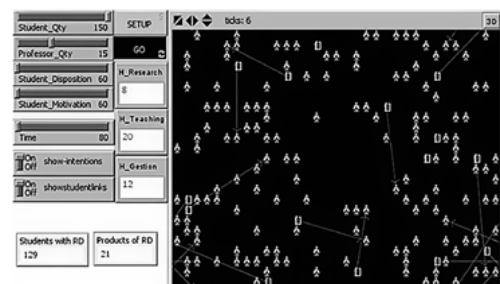
	r-professor	t-professor	student-mot	student-disp	student-learning	student-knowledge
m-professor	+	=	-	-	=	-
m-professor	-	=	+	+	+	+
	m-professor	t-professor				
r-professor	+	-	-	-	=	+
r-professor	-	+	-	-	=	-
	m-professor	r-professor				
t-professor	+	-	+	+	+	+
t-professor	-	+	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

un profesor) o igual a 90, incrementamos el conocimiento del alumno. También evaluamos el aprendizaje del estudiante cada 80 días (cada semestre)

El modelo de aprendizaje estudiantil se evalúa en un evento cada 80 horas (usualment al final del semestre para validar el estado de las habilidades logradas), y si el aprendizaje es mayor o igual a 90, se genera conocimiento. Con la generación de conocimiento se restablecen objetivo como el incremento de la cultura del aprendizaje, la motivación y la disposición a sus valores originales, y se suman a un nuevo semestre en donde los estudiantes cursan nuevas materias. La figura 4 muestra la simulación en NetLogo e incluye la biblioteca "Agentes con creencias e intenciones" desarrollada en NetLogo (Sakellariou, 2008) donde se presentan los resultados de aprendizaje adquiridos durante un semestre y la generación de conocimiento durante ese semestre (es decir, cuántos estudiantes lograron una calificación mayor o igual a 90)

Figura 4. Simulación en NetLogo



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

En este artículo se ilustran los elementos evolutivos de la sociedad del conocimiento y se establece que para que un grupo social sea sostenible, es necesario que considere que todo grupo, ente, persona, producto y cosa "existente" entra en un proceso irreversible de entropía, lo que requiere que se consideren aspectos fundamentales para prospectar los efectos que se tienen en la generación de estrategias sostenibles que permitan lograr un desarrollo permanente y evolutivo de la sociedad.

De la misma forma, se aborda el tema de la educación desde un enfoque basado en agentes, en este caso estos agentes (profesor y alumno) tienen los principios BDI y utilizan la biblioteca de Sakellariou (2008) Se observa que bajo los parámetros ingresados de manera empírica, aproximadamente un 15 por ciento llega a la generación de conocimiento (alcanzando las competencias del modelo educativo), y este resultado puede variar si las instituciones definen políticas y acciones a tomar con el fin de incrementar la motivación y disposición de los estudiantes hacia el proceso. de la creación de conocimiento.

En trabajos futuros se propone la implementación de técnicas de lógica difusa para analizar y evaluar el proceso de aprendizaje alumno-profesor para saber si hay más acciones a tomar para incrementar la generación de conocimiento. También porque necesitará saber qué sucedió si un estudiante alcanza el 89,99 de aprendizaje y solo 90 o más alcanzan esa generación de conocimiento (Ervural et al., 2016). También es necesario implementar los otros factores que describimos anteriormente y pueden ayudar al modelo educativo en su objetivo de incrementar la adquisición de conocimientos (Hennessey & Mueller, 2020; Idemudia et al., 2019).

Este caso de estudio se establece como uno de los importantes para desarrollar estrategias sostenibles que permitan el aletargamiento del proceso de entropía y lograr percibir que ocurre en el fenómeno del ciclo de vida social que mejore las condiciones para un crecimiento o mejor dicho, una permanencia en el entorno de mayor longevidad, al punto tal que al determinar la imposibilidad de detener el ocaso del grupo social, se esté perfilando la consolidación del siguiente.

Referencias

- Ahumada-Tello, E., & Castanon-Puga, M. (2016). Modelling complex systems with distributed agency and fuzzy inference systems. Knowledge-based curricula in higher education. *Procedia Computer Science*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.429>
- Ahumada-Tello, E., Castañón-Puga, M., Castro, J.-R., Suarez, E. D., Márquez, B.-Y., Gaxiola-Pacheco, C., & Flores, D.-L. (2011). On the multi-agent modelling of complex knowledge society for business and management system using distributed agencies. In *Communications in Computer and Information Science: Vol. 188 CCIS* (Issue PART 1). https://doi.org/10.1007/978-3-642-22389-1_49
- Ahumada-Tello, E., Castanon-Puga, M., Evans, R. D., & Gaxiola-Pacheco, C. (2018). Contributions of Knowledge Management to Firm Competitiveness from a Complexity Approach. *2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference, TEMSCON 2018*. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2018.8488416>
- Bashiri, H., Nazemi, A., & Mobinidehkordi, A. (2017). Futures engineering in complex systems. *Foresight*, 19(3), 306–322. <https://doi.org/10.1108/FS-09-2016-0042>
- Bernal, C. (2012). *Metodología de la Investigación*. Prentice-Hall.
- Castells, M. (2002). *La era de la información. Vol. I. La sociedad red*. Plaza y Janés, S.A.
- De Camargo, P. C., Mattos, S., & Goldenberg, C. (2020). Complexity and collective intelligence on demand for a sustainable future. *Proceedings - 14th IEEE International Conference on Semantic Computing, ICSC 2020*, 347–349. <https://doi.org/10.1109/ICSC.2020.00069>
- Diamond, J. (1997). *Guns, germs and steel: The fates of human societies*. W.W. Norton & Company.
- Ervural, B. Ç., Ervural, B., & Kahraman, C. (2016). Fuzzy sets in the evaluation of socio-ecological systems: An interval-valued intuitionistic fuzzy multi-criteria approach. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 341, 309–326. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31093-0_14
- Gilbert, N., & Troitzsh, K. G. (2008). *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press.
- Harrison, R. L., Reilly, T. M., & Creswell, J. W. (2020). Methodological Rigor in Mixed Methods: An Application in Management Studies. *Journal of Mixed Methods Research*, 14(4), 473–495. <https://doi.org/10.1177/1558689819900585>
- Hennessey, E., & Mueller, J. (2020). Teaching and learning design thinking (DT): How do educators see DT fitting into the classroom? *Canadian Journal of Education*, 43(2), 498–521. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85091719090&partnerID=40&md5=d-7d215839ce6b5b9d78f2d42228e8671>
- Idemudia, E. C., Adeola, O., & Achebo, N. (2019). The online educational model and drivers for online learning. *International Journal of Business Information Systems*, 32(2), 219–237. <https://doi.org/10.1504/IJBIS.2019.103078>
- John, K. K., Adarsh, S. N., & Pattali, V. (2020). Workers to super workers: A brief discussion on important technologies for industry 5.0 manufacturing systems. *AIP Conference Proceedings*, 2311. <https://doi.org/10.1063/5.0034521>
- Kapsali, M., Bayer, S., Brailsford, S., & Bolt, T. (2021). The agency role of simulation models in model-building groups. *Journal of the Operational Research Society*. <https://doi.org/10.1080/01605682.2021.1929527>
- Macintyre, P. D., Ross, J., & Clément, R. (2020). Emotions are

- motivating. In *The Palgrave Handbook of Motivation for Language Learning*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28380-3_9
- Minati, G. (2016). Knowledge to manage the knowledge society: The concept of theoretical incompleteness. *Systems*, 4(3). <https://doi.org/10.3390/systems4030026>
- Omodeo, P. D. (2019). Political epistemology: The problem of ideology in science studies. In *Political Epistemology: The Problem of Ideology in Science Studies*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23120-0>
- Rovbo, M. A., & Ovsyannikova, E. E. (2020). Methods of Local Behavior Planning for Agents with BDI Architecture. *Scientific and Technical Information Processing*, 47(6), 348–357. <https://doi.org/10.3103/S0147688220060052>
- Sakellariou, I. (2008). Agents with beliefs and intentions in NetLogo. In *A library of NetLogo*.
- Skorodumova, O. B., Matronina, L. F., & Koval, T. I. (2016). Management in the knowledge society: Tendencies and Prospects. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(12). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i12/89536>
- Suarez, E. D., & Castañón-Puga, M. (2013). Distributed Agency. *International Journal of Agent Technologies and Systems*. <https://doi.org/10.4018/jats.2013010103>
- Villarreal, R. (2006). *Competitividad en la Era del Conocimiento*. Centro de Capital Intelectual y Competitividad.
- Wooldridge, M., & Jennings, N. (1995). Intelligent Agents: Theory and Practice. *Knowledge Engineering Review*.
- Zhang, W., Jiang, Y., & Zhang, W. (2021). Capabilities for Collaborative Innovation of Technological Alliance: A Knowledge-Based View. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68(6), 1734–1744. <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2936678>



Hacia la Creación de un Simulador como Innovación para Abordar la Complejidad

Ricardo Fernando Rosales Cisneros

ricardorosales@uabc.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0266-2951>

Universidad Autónoma de Baja California

Ismael Plascencia López

ismael@uabc.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2860-1417>

Universidad Autónoma de Baja California

Margarita Ramírez Ramírez

maguiram@uabc.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4252-4289>

Universidad Autónoma de Baja California

Recepción: 28/09/2021

Aceptación: 22/10/2021

Resumen

El presente artículo aborda la importancia de la innovación para crear herramientas que ayuden a la solución de problemas complejos. En este se destaca como herramienta innovadora, la creación de un simulador que permita la abstracción de contextos con alta incertidumbre con el fin de simplificarlos y poder tener, un mejor tratamiento para disminuir su complejidad. Para esto se realiza una justificación del desarrollo del simulador. Así mismo, se describe la metodología empleada en cada una de las fases del desarrollo. Se destaca la aportación del simulador como innovación repercutiendo en tener un juicio más plausible y explícito para analizar y evaluar la importancia de la simulación para la comprensión de la complejidad, por último, se discute y concluye abordando el trabajo futuro.

Abstract

This article addresses the importance of innovation to create tools that help solve complex problems. In this, creating a simulator that allows the abstraction of contexts with high uncertainty to simplify them and be able to have a better treatment to reduce their complexity stands out as an innovative tool. For this, a justification of the development of the simulator is made. Likewise, the methodology used in each of the development phases is described. The contribution of the simulator as innovation is highlighted, having an impact on having a more reasonable and explicit judgment to analyze and evaluate the importance of simulation for the compression of complexity. Finally, it is discussed and concluded by addressing future work.

Palabras Clave: Innovación; Simulador; Complejidad

Keywords: Innovation; Simulator; Complexity

Introducción

Hoy en día en mundo globalizado y complejo, la seguridad alimentaria, cambio climático, educación, investigación, salud, pandemia, economía y pobreza entre otros, son temas en donde la innovación juega con papel clave, ya que esta es percibida como un elemento esencial para combatir los retos globales. Actualmente estamos viviendo cambios vertiginosos, hacer las cosas y/o actividades como se hacían antes, ya no funciona en la actualidad y esto no puede ser tan productivo como se espera, para estar al ritmo de esta aceleración debemos de innovar y crear constantemente, con el fin de abordar la incertidumbre emergente en este contexto complejo y caótico en el que vivimos.

El innovar permite obtener ventajas competitivas en base a las demandas del mercado, el innovar es utilizar el conocimiento (Wadwa, 2014). Es importante, tener en cuenta que innovación no solo se usa en sectores tecnológicos o industrializados, sino también está presente en la organización (forma en que trabaja, manejo y reclutamiento, trabajo en equipo, horarios, etc.), en productos y/o servicios como buscar opuestos, en la búsqueda de convertir algo negativo en algo positivo, permite convertir servicios en productos o viceversa, se puede hacer innovación basado en lo existente, en diferenciación y especialización, en cambios o mejoras en la forma de usar/consumir, innovación en el mercado, en la imagen, innovación educativa por mencionar algunos. La innovación puede estar presente en todos lados en cualquier ciencia o actividad ya que se debe de tener un progreso para el bien del usuario, del consumidor, empresa, organización con el fin de regenerar cualquier cosa (Goldsmith, 2012).

La innovación es una idea, objeto y/o practica que esta es percibida como nuevo, novedoso o como una unidad adopción. Esto implica que la percepción de la innovación puede o no ser objetivamente nueva (Pocket, 2013).

Cuando la innovación está presente es importante gestionar la misma, por ejemplo, la gestión tecnológica que es el conjunto de técnicas que permite la identificación del potencial y los problemas tecnológicos de la empresa y/o organización, se aplica con el fin de elaborar e implementar planes de innovación y mejora continua, a efectos de mejorar su efectividad (Solleiro, 2016).

La gestión de la innovación tecnológica es la organización y dirección de los recursos, humanos como económicos, con el fin de aumentar la creación de nuevos conocimientos; la generación de ideas técnicas que permiten obtener nuevos productos, procesos, y servicios o mejorar los ya existentes, el desarrollo de dichas

ideas en prototipos de trabajo y transferencia a fases de fabricación, desarrollo, distribución y uso (Corre, 2006).

La gestión tecnológica es un aspecto fundamental ya que tiene un impacto directo en las diferentes áreas generadoras de valor. Gestionar adecuadamente implica conocer el mercado, tendencias tecnológicas y la capacidad de los competidores, permite evaluar resultados, conseguir la optimización de los procesos productivos, etc. (Solleiro, 2016).

Esto nos permite analizar y cuestionarnos ¿se puede gestionar la complejidad utilizando la innovación tecnológica?, la investigación propuesta trata de dar respuesta a esta pregunta.

Comprensión de complejidad para realizar innovación

La ciencia de la complejidad estudia las propiedades fundamentales de la retroalimentación-no lineal de las redes, particularmente de redes complejas adaptativas (Stacey, 1996). Los sistemas complejos adaptativos consisten en un numero de componentes o agentes, que interactúan entre ellos acordando un conjunto de reglas que requieren ser examinadas y respondidas en base al comportamiento entre ellos con el fin de para mejorar sus comportamientos, así como los comportamientos del sistema del que son parte (Martínez, 2017). En otras palabras, dichos sistemas operan de manera que constituyen aprendizaje. Este tipo de sistemas opera en ambientes que consisten mayormente otros sistemas de aprendizaje, esto nos conlleva a que juntos conforman y evolucionan un supra sistema en el sentido que crea y aprende su camino en el futuro.

Tales sistemas en red son ubicuos en la naturaleza, no sorpresivos, ya que nosotros también formamos parte de esa naturaleza, la interacción humana también pone en marcha este tipo de sistemas. Por ejemplo, cada uno de nosotros tenemos un cerebro, este es un sistema adaptativo complejo en donde las neuronas son los agentes que interacción bajo un contexto. Pero en este cerebro tenemos una mente con capacidades cognitivas con procesos de conciencia, memoria, percepción, imaginación, pensamiento, etc. Lo que hace que la interacción cerebro-mente un sistema complejo adaptativo donde la mente sea una agente que interactúa con sus agentes internos por medio símbolos. Ahora bien, si contextualizamos al cerebro que es parte de un cuerpo entonces esto nos dice que nos conformamos como parte de un sistema y subsistemas complejo adaptativo en un sentido biológico y mental.

También podríamos ejemplificar que de ello se desprende que todas las organizaciones son tales sistemas. La interacción en las organizaciones es para formar sistemas nacionales económicos, sociales y políticos, los sistemas nacionales interactúan para for-

mar un sistema global, que interactúa con los sistemas naturales para formar una ecología interconectada, que ahora parece estar en un calentamiento global. Todos son sistemas adaptativos complejos, cada uno encaja dentro de otro.

Entonces, ¿cómo la ciencia de la complejidad estudia estos sistemas complejos adaptativos que encontramos en todas partes? ¿qué tenemos que decir acerca de ellos? El método más importante de estudio de tales sistemas es simularlos es decir simular todos sus elementos y contexto de interacción, así como su evolución en las computadoras (Caselles, 2008). Por ejemplo, podemos simular a los miembros de una organización, como agentes cuyo comportamiento está impulsado por un conjunto de reglas para la realización de tareas, la evaluación de su desempeño, y el cambio de las reglas, así como definir reglas que se autocopien de una generación a otra.

Algunas de estas reglas son conscientes y explícitas, mientras que otras, por lo menos en el caso de los humanos, son implícitas e inconscientes. Sin embargo, podemos, mediante la observación de una persona, extraer las regularidades en su comportamiento y luego articular un conjunto de reglas que produzcan tales regularidades esto es, después de todo, lo que los psicólogos y psicoanalistas lo hacen.

El desarrollar un simulador como innovación para abordar la complejidad implica programar un conjunto de reglas de operación e instrucciones, que permitan entender la evaluación de operaciones, cambio de las reglas de operación y evaluación resultado de su desempeño. Tal simulador podría ser bastante realístico y ser considerado como un agente si algunas de sus reglas los obligan a examinar el estado de otros agentes ajustando sus reglas en consecuencia.

El simulador debe permitir que interactúen entre sí los agentes involucrados construyendo una población agente interactivos que evolucionen y aprendan. Por consecuente podríamos simular un sistema complejo adaptativo, con una colección de agente, sensibles al contexto, es decir preparado para la emergencia incertidumbre dentro del sistema.

Por lo tanto, es legítimo utilizar este tipo de simulaciones para tratar de descubrir las propiedades fundamentales de los sistemas complejos adaptativos en todas partes. Así mismo se debe de comprobar si las características humanas tales como la conciencia y la emoción alteran las conclusiones que alcanzamos, un primer caso para comprobar es crear simulaciones dándonos ideas muy importantes.

Justificación del porque simular

La complejidad está presente en distintos escenarios llenos de incertidumbre como la pandemia COVID-19

que estamos viviendo (Diaz, 2020), esta nos obligó al distanciamiento social y a cambiar los comportamientos sociales que comúnmente realizamos. Esto nos indica que debemos de realizar innovación para adaptarnos a estos cambios que marca este contexto. Por lo tanto, la creación de un simulador interactivo que apoye a una sociedad al acceso del conocimiento accedando a servicios y/o información de forma continua e interrumpida y a distancia puede dar respuesta a la necesidad de accesibilidad y disponibilidad. El tener simuladores que permitan crear modelos que proporcionen acceso instantáneo de información, inclusive en situaciones de emergencia, modelos que evolucionen para satisfacer las necesidades de información en base al requerimiento, acciones, comportamiento, rendimiento, son de gran ayuda. Un modelo que soporta una sociedad del conocimiento, debe de tener una gestión integral de la información del entorno (Hargreaves, 2003).

Es importante en la innovación hacer un análisis del estado actual del objeto de estudio, sin embargo, la complejidad del análisis se incrementa cuando este es más profundo y por los elementos involucrados, para esto es necesario utilizar herramientas basadas en computadoras como lo es un simulador que modele computacionalmente procesos, interacciones, reglas, contextos o entornos. La simulación sin embargo tiene en cuenta la aleatoriedad y la interdependencia que caracterizan el comportamiento de su entorno de negocios de la vida real (Pristker, 1989). El uso de la simulación, permite incluir aleatoriedad a través de distribuciones probabilísticas tomadas directamente el objeto de estudio.

En los últimos años la simulación se ha convertido en una de las principales herramientas para la búsqueda de la investigación social debido a su capacidad para explorar y validar los fenómenos sociales (Castañón-Puga, 2008).

La innovación en organizaciones complejas es más que un fenómeno social que un tecnológico destacando la dinámica social de la innovación y la necesidad de espacio de adaptación (Rodríguez, 2006).

En la actualidad el modelado de sistemas sociales realistas no se puede lograr al recurrir a un solo tipo de arquitectura o de práctica. Los sistemas sociales contienen múltiples componentes que están estrechamente relacionados entre sí, lo que presenta múltiples obstáculos en la construcción de modelos de la realidad (Yong-Kui, 2007).

Un sistema social se considera un sistema complejo. Este puede ser visto como sistemas dentro de sistemas. Estos sistemas no se pueden entender mediante la adopción de sus partes de forma independiente (Flores, 2011). Un cambio en una de las partes puede afectar a una o más partes del sistema. La interacción interna y externa es muy importante en la representación de

estos sistemas complejos (Bogart, 2011). Por lo cual la simulación nos ayudara a realizar esta representación.

En las sociedades artificiales, un trabajo interesante y desafiante es el mostrar la interacción entre los individuos, en un proceso donde la personalidad de los actores sale a la luz (Castañón-Puga, 2008), que lo hacen posible, tendrán una mayor probabilidad de sobrevivir a los nuevos cambios del entorno como lo es un proceso de innovación. Es por esto que se propone la creación de un simulador como innovación para abordar la Complejidad independientemente de la organización u empresa.

Metodología

La metodología para el desarrollo del simulador es de suma importancia, para esto la formulación de sus características es una tarea clave la aportación de todos los involucrados, tanto los investigadores como aquellos posibles usuarios. Por tal motivo se realizan varias fases con tareas para que se pueda desarrollar. Para esto es importante que se lleven a cabo tareas como son: depurar, revisar y estudiar la información recopilada respecto a simuladores, tipos, características, etc. Una vez que se tenga esta depuración se empezara a definir las características propias del simulador. Características tales como: operativas (corrección, usabilidad/factibilidad, integridad, fiabilidad, eficiencia, seguridad), transición (interoperabilidad, reutilización, portabilidad) y revisión (capacidad de mantenimiento, flexibilidad, extensibilidad, escalabilidad, capacidad de prueba, modularidad) del desarrollo del simulador. Otra tarea es analizar requerimientos, especificación, funcionalidades, restricciones, identificación de riesgos y estrategia para evitarlos.

Después de esto se necesita ejecutar su desarrollo, siguiendo un modelo de desarrollo de software como lo es la metodología en espiral (Wasson, 2015), por medio del cual se lleva a cabo redefiniciones progresivas que retroalimentan las nuevas fases del ciclo de diseño, implementación y pruebas. Por lo cual, se realizarán primeras versiones del simulador, partiendo de sistemas simples donde en ciclos posteriores se ira refinando para crear un simulador más complejo y acorde a las características adecuadas. Para llevar a cabo este desarrollo se necesita realizar un análisis de riesgos, en primera instancia se deben de realizar una identificación de riesgos. Aquí se identifican todos los posibles riesgos para el desarrollador se hace una clasificación de los mismos desde una baja hasta alta prioridad. Esto permite realizar de forma más detallada un análisis de riesgos, donde se analizan los riesgos potenciales para el proyecto, su origen o causa, impacto, etc.

Después se pasa a una planeación de riesgos. En esta tarea se realiza una estrategia y enfoque detallado

para desempeñar las soluciones de los riesgos potenciales de una manera eficiente y oportuna.

Después en la supervisión de riesgos, se valoran los riesgos previamente identificados con el fin de validar si ha cambiado su efecto o se ha nulificado el riesgo. Después en anulación de riesgos y planes de contingencia, se realiza una estrategia de anulación que nulifica y mitiga algún impacto de la probabilidad de un riesgo que surja. Aquí también se aplican procedimientos elementales (desarrollados tomando en cuenta análisis de riesgo previo) que permiten contralar los riesgos asociados a una contingencia.

Por último, dentro de los riesgos, se hace una valoración de riesgos donde se emite un juicio sobre la tolerancia del riesgo, su causa, impacto, contingencia, etc., sirviendo como retroalimentación a la planeación de riesgos, para evitar o nulificar riesgos futuros.

Una vez que se analizan todos los riesgos se pasa a fase de diseño, pruebas e implementación.

En la fase de diseño, se lleva a cabo el diseño de los elementos base del simulador que posteriormente permiten el desarrollo componentes visuales útiles que permitan simulación de distintos escenarios de procesos interfaces de usuario graficas. Finalmente se desarrolla un prototipo reuniendo todas estas partes con el objetivo de demostrar la consecución de objetivos y requisitos propios del sistema computacional. Por lo tanto a detalle en diseño y desarrollo de elementos base del simulador. Se diseña y desarrolla un conjunto de elementos que permite tener una abstracción de la realidad en un escenario simulado, se realizan diferentes patrones de diseño del modelo.

Por otra parte, se implementa la biblioteca de elementos base. Aquí se desarrolla el modelo en general, se conjuntan interacciones y funcionalidades de los elementos del mismo. Una parte importante también son los componentes visuales. Aquí se diseña y desarrolla diferentes componentes visuales, utilizando patrones de diseño fáciles de utilizar o agregar en diferentes simulaciones ayudando a usuarios en la interacción con el simulador. Una vez que se tiene esto se puede ya desarrollar un prototipo con el fin conjuntar todos los componentes desarrollados. Ya en conjunto se realizan pruebas donde se lleva a cabo una planificación de casos de estudio que ayudan a establecer escenarios de prueba para el desarrollo. Después se diseñan casos de prueba que fueron aplicados a las simulaciones creadas y propuestas. Los resultados son analizados y descritos de manera comparativa considerando otros simuladores, métodos clásicos de análisis y/o herramientas similares.

Ya con las pruebas realizadas se pasa a una fase de evaluación. Donde se simulan distintos escenarios de casos prácticos e hipotéticos, se realiza evaluación y validación de los resultados obtenidos, con el fin de comprender los casos de estudio, el prototipo propor-

cional información sobre la interacción en varios niveles de uso. Particularmente aquí se realiza la evaluación de uso en casos de estudio. En esta tarea se proponen diferentes casos de estudio, sirven para establecer escenarios de evaluación y prueba para cada uno de los componentes desarrollados del simulador.

Por esto es importante un análisis de resultados que se propongan distintos escenarios de evaluación y prueba, validando cada uno de los componentes propuestos. Como vemos la metodología para el desarrollo de este simulador es muy compleja, donde el trabajo en equipo de todos los interesados es de gran importancia para su desarrollo.

Aportación del Simulador como innovación

El aporte de la investigación ayuda a comprender la naturaleza de los sistemas complejos por medio de la simulación. Permite tener una asimilación de la realidad, propone tener una concepción en la forma de innovación desde un pensamiento sistémico respecto a la realidad.

Respecto al valor metodológico que aporta esta investigación nos permite tener un juicio más plausible y explícitos para analizar y evaluar la importancia de la simulación para la comprensión de la complejidad inclusive en contexto con baja, media y alta incertidumbre. Ayudándonos a poder comprender un universo más extenso en estos contextos. Por otra parte, el desarrollar un simulador que esté disponible para cualquier institución, organización, alumnos, profesores, investigadores, les permite potencializar sus capacidades, creando simulaciones que permiten desarrollar escenarios complejos e hipotéticos y otros basados en la realidad, con el fin de ayudar a minimizar costos, tiempos, automatización de procesos, aumento de la productividad, de los elementos involucrados.

Así mismo el crear un simulador ayudara evaluar y entender los contextos complejos internos y externos que aquejan a la organización u empresa. El simulador tendrá una interfaz gráfica intuitiva para que cualquier persona, aunque esta no sea experta en uso de computación podrá crear sus escenarios de simulación adecuados a lo que pretende. También, permitirá comparar entre la teoría y el mundo real, permitirá comunicar claramente las entradas y salidas del sistema y demostrar los resultados y cotejarlos bajo distintos contextos inclusive con otras investigaciones acerca del tema en cuestión.

Desde el punto de vista social la propuesta aporta a la sociedad el desarrollo de modelos con conocimiento de la situación ayudando a la detección de otros tipos de contextos complejos como lo son la seguridad alimentaria, cambio climático, salud, pandemia, economía y pobreza entre otros, con el fin de simular escenarios

en donde se puede tener mejoras positivas ayudándose de la innovación tecnológica, y maximizar como esta juega con papel fundamental para el desarrollo y crecimiento de cualquier tipo de organización inclusive, al crecimiento de economías emergentes, ayudando a aumentar la calidad de vida de la sociedad en general.

Conclusiones y discusión

El simular distintos escenarios o contextos y que de estos se obtengan resultados que permitan repercutir en tomar decisiones adecuadas en pro de la organización esto es una verdadera innovación. Por lo cual tener un simulador como base de conocimiento que permite comprender y abordar mejor la complejidad permitirá a la organización a mejorar los procesos siendo sensible al contexto inclusive en aquellos de alta incertidumbre. Así mismo puede mejorar las competencias de los involucrados respecto a los procesos de gestión de la innovación. Ya que permitirá simular procesos innovadores que podrá ayudar obtener resultados positivos que probablemente jamás se hayan obtenido. En un mundo tan complejo como el actual es necesario de apoyarse de herramientas tecnológicas que permitan soportar la toma de decisiones, el mundo ha cambiado y nosotros debemos de ser adaptativos al mismo.

Cabe destacar, que el desarrollar un simulador que sirva para abordar la complejidad en base a la construcción de conocimiento que apoye a procesos de organizaciones, empresas e instituciones a mejorarlos, esto no habla que exista una innovación incremental y disruptiva, inclusive permitiendo a las organizaciones de ser adaptativas en tiempo real siendo sensibles al contexto donde coexistir y mejoran de manera competitiva y productiva.

Por último, es importante que la investigación propuesta comparta proyecciones estratégicas entre distintas Universidades de prestigio de México ya que promueve la vinculación entre las mismas. Así mismo promueve y crea redes de colaboración con investigadores reconocidos a nivel nacional e internacional. Así como la inclusión de nuevos investigadores al proyecto con la posibilidad de crear nuevos grupos de investigación. Es importante destacar que la complejidad siempre estará presente, pero si nos apoyamos de herramientas tecnológicas e innovadoras como los simuladores esta puede ser mejor abordada y tratada desde distintos escenarios. Los simuladores pueden ayudar a encontrar los resultados óptimos o esperados para después poder replicarlos en el mundo real, minimizando los errores y reforzando la toma de decisiones dando resultados esperados por las organizaciones u empresas repercutiendo en ahorros significativos de tiempo y ahorro.

Agradecimientos

Queremos agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México y a la Universidad Autónoma de Baja California por todo el apoyo otorgado para realizar esta investigación.

Referencias

- Bogart, Y. et al. (2011). Methodology for the Modeling of Complex Social System Using Neuro-Fuzzy and Distributed Agencies. *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Software Engineering (JSSE)*.
- Caselles, M.A. (2008). Modelación y simulación de sistemas complejos. Publicacions de la Universitat de València.
- Castañón-Puga, M. et al. (2008). Social systems simulation person modeling as systemic constructivist approach. *Soft Computing for Hybrid Intelligent Systems*. 10.1007/978-3-540-70812-4_13.
- Corre, A. and Mischke G (2006). A New Approach to Innovation Management and R&D. Springer Science & Business Media.
- Diaz, R.J.B. (2020). Cuando la ciencia no alcanza: México ante la pandemia del COVID-19. *Horiz. Sanitario, Vol.19 no.2*.
- Flores, D.L et al. (2011). A complex social system simulation using type-2 fuzzy logic and multiagent system. *In MICAI 2011: Advances in Artificial Intelligence* pp 65-75.
- Goldsmith, D. (2012). *Innovation Everywhere. Paid to think*. Editing by Lorrie Goldsmith, BenBella Books.
- Hargreaves, A. (2003). *Teaching in the Knowledge Society: Education in the Age of Insecurity, Professional Learning Series*. Illustrated
- Martínez, L.J. (2017). El conocimiento como sistema adaptativo complejo en las organizaciones de gestión de proyectos. *PMO. Revista Ontare*. 4. 10.21158/23823399.v4.n2.2016.1626.
- Pocket, Mentor (2013). *Executing Innovation: Expert Solutions to Everyday Challenges. Harvard Business School Press*.
- Pristker, A. B. (1989). Why Simulation Works. *Proceeding of the 1989 Winter Simulation Conference Macnair E.A., Musselman P, Hedilberg P, eds*.
- Rodriguez, J.M. (2006). *La dinámica de la innovación tecnológica. Modelo HIPER 666*. Universidad Nacional de Colombia.
- Solleiro, J.L. y Castañón, R. (2016). *Gestión Tecnológica, Conceptos y Practicas*. CamBioTec A.C.
- Stacey, R.D. (1996): *Complexity and creativity in organizations*. San Francisco, CA: Berrett-Koehler Publishers.
- Wadwa, M. (2014). *Technology, Innovation, and Enterprise Transformation. Advances in Business Information Systems and Analytics*. IGI Global.
- Wasson, C.S. (2015). *System Engineering Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices*. John Wiley & Sons.
- Yong-Kui, Z. Y Yea-Chung D (2007). The simulation of urban growth applying sleuth ca model to the yilan delta in Taiwan. *Jumal Alam Bina, Vol. 09 No. 01*.

La Gestión Compleja: De la Jerarquía a las Redes Complejas y la Heterarquía

Carlos Eduardo Maldonado

Profesor titular

Facultad de medicina

Universidad El Bosque

maldonadocarlos@unbosque.edu.co

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9262-8879>

Recepción: 06/09/2021

Aceptación: 15/10/2022

Resumen

Este artículo estudia cómo es posible una gestión del mundo modo complejo. Una gestión semejante está vinculada a la naturaleza, y no a los sistemas humanos; ciertamente no en la manera como atávicamente han sido entendidos a lo largo de la historia de la humanidad occidental. Una gestión modo complejo consiste en el distanciamiento de sistemas jerárquicos, piramidales y centralizados hacia dinámicas de heterarquía y redes complejas. La tesis central de este texto es que una gestión modo complejo es gestión que no sabe de control, y por ello mismo se despliega en términos de autoorganización o, lo que es equivalente, de confianza. Los dos ejes que aparecen como conductores hacia, o fundamentos de, una gestión modo compleja, las redes complejas y la heterarquía implican que la administración en sentido amplio debe poder saber de antropología, epigrafía, entnología y etnografía, en fin, de historia y microhistoria, y no ya solamente de las aproximaciones tradicionales, todas de origen distintivamente ingenieril.

Palabras clave: Complejidad, no-linealidad, vida, democracia, confianza

Abstract

This paper studies how management is possible understood under the scope of complexity theory, i.e. complexity science. Such management goes hand in hand with a relation and an understanding of nature, not just of human affairs, which is the way in which management has been classical grasped along the history of the western world. Complexity management consists thus in distancing form hierarchic, pyramidal and centralized systems towards dynamics characterized by complex networks and heterarchy. The claim here is that complexity management does not know of control and, thereafter, it leads toward self-organization or also to trust. The two axis that appear ad ground or also al leading threads for a complexity management, namely complex networks and heterarchy, entail that management at large must know about anthropology,

epigraphy, ethnology and ethnography, micro-history and not just about the typical approaches that emerge from engineering.

Key Words: Complexity, non-linearity, life, democracy, trust

Introducción

Las ciencias de la complejidad se encuentran aún lejos de convertirse en parte de la corriente principal de pensamiento (*mainstream science*). Ciertamente es evidente la forma como el lenguaje de la complejidad se viene permeando a través de diversas prácticas, ciencias y disciplinas, y cómo existe una masa crítica que crecientemente se interesa por las ciencias de la complejidad. Asimismo, el número de simposios, seminarios, congresos, conferencias y demás dedicados al tema es creciente alrededor del mundo, al tiempo que se multiplican las publicaciones en el área. Cada vez más aparecen editoriales con colecciones y revistas especializadas en el tema. Todo ello, motivo de orgullo para la comunidad de complejólogos. Pues bien, una razón fuerte por la cual la complejidad está aún lejos de formar parte de la vida cotidiana de la sociedad, las organizaciones, las instituciones, en el sector público, el privado o en el tercer sector se debe a la implementación misma de la complejidad, por así decirlo. No en vano, recurrentemente, en particular en los países de habla hispana, emerge la pregunta acerca de la forma como la complejidad se aplica o se gestiona o se incorpora, haciendo pensar siempre en lo comporta una instrumentalización de la complejidad. Se trata de preocupaciones legítimas, en particular cuando se las ve con los ojos de pasado o, lo que es lo mismo, con los ojos de un ánimo de concreción y aplicación de ciencias, teorías, ideas y comprensiones. Este texto busca allanar este camino.

El hilo conductor es el estudio de los temas y problemas relativos a la gestión, un tema que compete por igual a la política y la economía, a las finanzas y la administración, a la cosa pública y a las empresas, en fin, a las formas de organización humanas en cualquier momento y lugar, cualquier que sea su tamaño o su finalidad. Era exactamente esto lo que designaba a la política en el mundo antiguo: los asuntos que competen a la Polis, en fin, al convivio, mucho antes o bien mucho más allá de los temas relativos a los sistemas políticos, los regímenes políticos y otros próximos y semejantes. No en última instancia, el tema atañe igual y necesariamente a la organización del aprendizaje de los seres humanos, esto es, a la educación.

La tesis que defiende este texto afirma, negativamente, que las formas jerárquicas de organización no resuelven mayor cosa; solo las empeora, algo que con

el tiempo se hace evidente (Mezza-García, Maldonado, 2015). Baste si no mirar a la propia historia de la civilización occidental, distintivamente organizada, a lo largo de más de 2500 años en torno a sistemas verticales, jerárquicos, piramidales; en la religión y en la política, en los asuntos militares y en la educación, en fin, en las penurias y necesidades tanto como en los tiempos de paz. Sin embargo, la tesis formulada admite una comprensión positiva o afirmativa. Esta sostiene que es posible, e incluso necesario, una transformación radical de las formas jerárquicas de organización hacia formas que cuiden y exalten la vida. Pues bien, el modo como una transformación semejante es posible es a través de redes complejas o también de heterarquías. El resto de artículo está dedicado a mostrar lo que implican las redes complejas y la heterarquía, tanto como a establecer, exactamente, cómo es una gestión compleja o una gestión heterárquica.

Ciertamente, de manera reciente hay una bibliografía acerca de temas organizacionales y heterarquía (Aime *et al.*, 2014; Chandrasekar-Smitha, 2017; Schoelhammer, 2020; Annushkina, Regazz, 2020; Pini-Fitzsimmons *et al.*, 2021). Sostengo que no es precisamente en esta dirección que apunta este trabajo. Por el contrario, más originariamente, la heterarquía es un tema que nace en, y se alimenta de, la antropología (Hüsken, 2019; Cayón, 2020), pero con ella, entonces también derivativamente, en conexión estrecha con la etnografía, la etnohistoria, la epigrafía, la etnología, la arqueología y la historia (Crumley, 2005).

Ahora bien, la comunidad de complejólogos no ha trabajado hasta la fecha en profundidad el tema de la heterarquía. Existen razones precisas que explican esta circunstancia, que tienen que ver con el acentuado interés por las redes complejas, al margen justamente de las heterarquías; en otras palabras, por un fuerte acento computacional al margen de un trabajo también con la antropología en sentido amplio (Barrat *et al.*, 2008). La novedad de este artículo estriba en la conexión entre redes complejas y heterarquía, por consiguiente, entre modelamiento y simulación y antropología, historia y política, en el marco de las ciencias de la complejidad.

Sin ambages, poner en un mismo plano a las redes complejas con la heterarquía y los temas de gestión es una contribución de corte latinoamericano (Ugalde y Landázuri Narváez, 2016), y más auténticamente, de origen precolombino (Kurnik and Baron, 2016). Fueron los pueblos, culturas, sociedades y civilizaciones precolombinas las que, en marcado contraste con Occidente, sabían y saben de heterarquía.

Los argumentos que sostienen a la tesis enunciada son tres. En primer lugar, se trata de señalar los peligros de los sistemas jerárquicos. Mientras que clásicamente, de manera abierta o tácita, se afirmó que los sistemas jerárquicos son evidentes y necesarios, este

texto argumentará que son antinaturales, y por tanto, violentos. El segundo argumento se concentra en las redes complejas con una doble finalidad; de un lado, cribar de cualquier buen entendimiento el holismo, que es, hay que decirlo expresamente, mala ciencia. Y de otra parte, se trata de comprender por tanto cómo las redes complejas permiten un modo de gestión que sea exaltador y posibilitador de vida. Sobre esta base, el tercer argumento se concentra en el estudio de la heterarquía, y establece de manera explícita cómo ésta se integra con el estudio de los fenómenos y sistemas de complejidad creciente. Una mirada a la antropología se impone, y se destacan los beneficios de una mirada semejante. Al final, la conclusión señala que una gestión compleja es gestión de vida, no de materiales, dineros, recursos, y demás. Las redes complejas y las heterarquías son exactamente el modo como funciona y se estructura la naturaleza.

1. Los peligros de los sistemas jerárquicos

De manera tradicional, Occidente concibió la estructura misma del universo y la naturaleza como un sistema jerárquico y centralizado y, consiguientemente, organizó la sociedad y todos los asuntos humanos de la misma manera (Maldonado, 2020a). Esta historia no se reduce únicamente a ese momento puntual que es la hibridación entre Atenas, Roma y Jerusalén; se encuentra, en realidad, desde la misma concepción de Occidente, hacia el año 7.000-5.000 a.e.v. Específicamente, se trata de la historia que, desde los orígenes del neolítico, incluye al antiguo Egipto, a Persia, Mesopotamia, los Fenicios y los Hititas (Lévèque, 2012).

Pues bien, la historia de la estructuración de la sociedad en términos jerárquicos, piramidales, centralizados coincide, plano por plano, con la historia misma de la violencia, la exclusión, las inequidades y las desigualdades. En efecto, toda la historia de Occidente se condensa en la siguiente ecuación:

$$H = 1/N$$

en la que H expresa a la especie humana, y N a la naturaleza, de tal suerte que el ser humano se concibe como exterior y superior a la naturaleza, y reduce a esta a un medio que existe en función de los intereses, necesidades y deseos humanos. Una concepción semejante, mucho antes del Génesis en el Libro de los Libros, se encuentra en la *Política* de Aristóteles. Sólo que la "naturaleza" es el título genérico que expresa a todo lo ajeno, externo, en fin, lo otro de lo propio, y que consiguientemente designa a los úeb,os primitivos, a las culturas lejanas, a las civilizaciones extrañas. Dicho sin más, la "naturaleza" habrá de incluir a otros pueblos, culturas, sociedades, civilizaciones y al interior de la

ciudad occidental, a los pobres, desplazados, necesitados, reseñados, extranjeros y excluidos. Que el mundo se hubiera estructurado jerárquicamente comportó una noción de ascenso y descenso, de pruebas y mecanismos de selección, de asimilación y cooptación, en fin, de distanciamiento y separación. Todo lo demás, fue historia, hasta el presente. Erróneamente, Occidente creyó ella misma, y le quiso hacer creer a otros pueblos y sociedades, que así eran las cosas y no podrían ser de otro modo. A los pueblos que vivieron de otra forma, Occidente terminó robándoles la historia, la memoria (Goody, 2006), en fin, su propio ser.

Para decirlo en otras palabras, una manera semejante de concebir el universo, la realidad, la naturaleza y el mundo, supuse la superposición de la cultura sobre -y en contraste con- la naturaleza. En una palabra: se trató de una concepción antinatural, dualista, binaria, bivalente.

Puede decirse que la idea de sistemas jerárquicos es concomitante con el descubrimiento y el despliegue del individualismo (Sheldrake, 2012). Sería interesante rastrear estos orígenes; aquí, por razones de espacio, digamos que se encuentran exactamente en las semillas mismas constitutivas de la humanidad occidental, si bien el individuo y el individualismo no ha sido descubierto una sola vez, sino varias a lo largo de la historia de la civilización occidental (Gauthier, 1998; Focroulle et al., 2005; Macpherson, 2005). Una lectura reciente de este mismo proceso afirma que el descubrimiento del individualismo coincide por completo con la erección de la sociedad patriarcal.

Como quiera que sea, la imposición de sistemas jerárquicos es una sola y misma cosa con la imposición de un pensamiento analítico; esto es, (des)agregativo, composicional, clasificatorio, que cree en y trabaja con categorías. Las categorías son siempre clasificatorias y no en última instancia jerarquizantes. Este tipo de pensamiento termina por hacer creer que hay cosas que son más importantes que otras, cree en necesidades en contra de fenómenos contingentes, desplaza a lugares secundarios aquello que no es necesario y entonces subsidiario, en fin, ordena las cosas de modo piramidal y centralizado. Basta con echar una mirada a la historia para entender las consecuencias de una mentalidad semejante. Digámoslo en una palabra: una estructuración semejante no sabe nada de complejidad, esto es, de redes complejas, de sistemas autoorganizativos, en fin, de no-linealidad. Todo responde a un espíritu distintivamente lineal, secuencial, jerárquico (Mezza-García, Maldonado, 2015).

Occidente no supo en toda su historia de otra forma que de organización vertical de las cosas. Así explicó, especialmente, en el medioevo, la estructura del cielo, compuesto por Dios, los arcángeles, los ángeles, los santos, los querubines, y luego las almas mortales,

en orden descendiente. Asimismo, concibieron Platón y Aristóteles la estructuración del conocimiento, y con él, de la sociedad entera. En este mismo sentido se fundó la administración como disciplina científica (Forrester), ya desde sus orígenes hasta el día de hoy: Ford, Taylor, Fayol, hasta Porter, por ejemplo. En fin, exactamente con este espíritu se explicó a la naturaleza, ya sea con el sol como centro, o con la reina abeja u hormiga, o el rey león, alrededor de los cuales todo lo demás pivotaba. Todo, en resumen, fue la trasposición sin más de un modelo distintivamente antropológico y antropocéntrico al conjunto del universo, la naturaleza y el mundo.

Pues bien, específicamente las ciencias de la complejidad han venido recientemente a poner de manifiesto que, en verdad, la naturaleza, el mundo y el universo no tienen, en absoluto, una estructura jerárquica y piramidal. Precisamente por ello al mismo tiempo han emergido varias disciplinas y ciencias al interior de las ciencias de la complejidad, y varios enfoques y líneas de estudio al respecto. Primero, se trató del descubrimiento de sistemas autoorganizados (Nicolis, Prigogine, 1994; Nicolis, 2007); seguidamente, el descubrimiento y explicación de la inteligencia de enjambre (Bonabeau *et al.*, 1999), y el estudio de los cardúmenes, las escuelas de pájaros, las manadas; en el mismo sentido fue determinante el nacimiento de la ciencia de redes complejas (Watts, 2003; Strogatz, 2003; Barabasi, 2003), y la puesta en evidencia de redes libres de escala, redes de mundo pequeño y redes aleatorias. Sobre esta base, diversos otros descubrimientos, desarrollos e investigaciones emergieron conformando una atmósfera perfectamente novedosa cuyo resultado puntual consiste en la puesta en evidencia que mientras que los sistemas jerárquicos son exclusivos de la forma occidental de vida humana, hubo y hay otras formas de organización de la vida. Giramos a continuación la dirección en esta otra dirección.

2 Las redes complejas y los temas de gestión

Otras formas de organización del mundo y de las cosas son posibles. Si bien le corresponde el mérito a las ciencias de la complejidad haber puesto manifiestamente sobre la mesa, a plena luz del día, que los sistemas jerárquicos no constituyen, en absoluto, ni una regla ni una necesidad, originariamente, quien lleva la delantera en el descubrimiento de formas de organización no piramidales es la antropología. En efecto, ésta pone en evidencia que hubo y existen aún comunidades, culturas, pueblos y civilizaciones cuya forma de organización no es, en absoluto, jerárquica, sino heterárquica. Dejaré para la sección siguiente la discusión sobre la heterarquía. Por lo pronto quiero anticipar que la heterarquía es una forma de organización o de red compleja aun cuando la ciencia de redes complejas no

haya formulado ni una sola palabra al respecto (Barrat *et al.*, 2008). Me concentraré aquí, por lo pronto en las redes complejas con la idea de demostrar que es posible una gestión compleja que, consiguientemente, no sea vertical, piramidal, directiva. Por lo demás, la mejor introducción a las características y estructuras de la heterarquía es el estudio de las redes complejas.

El estudio de las formas de organización, primero, y luego, la consideración sobre si, cómo y por qué, algunas de estas formas pueden transformarse en otras es el objeto propio de la topología. Un campo que permanece ampliamente desconocido entre politólogos, administradores, economistas, sociólogos, principalmente.

No sin varios antecedentes, que conducen, retrospectivamente, hasta los trabajos pioneros de Euler, Riemann, Möbius, y Poincaré, entre otros, puede decirse que la topología nace propiamente gracias a S. Smale en 1966, cuando este gana la Medalla Fields. La forma primaria de topología es la llamada de topología de árbol, que expresa justamente a un sistema jerárquico (Maldonado, 2021). La topología puede ser vista como la transición de la geometría y el estudio de espacios y configuraciones a las transformaciones de las mismas. El lenguaje habitual es el de superficies, invariancia, espacios, estructuras, clases, mapas, conjuntos, diagramas, redes, y en un plano más desarrollado, hiperespacio, complejos algebraicos, homología, homeomorfismo (Alexandroff, 1961; Graham Flegg, 1974).

Pues bien, una estructura determinada puede, efectivamente, ser transformada en otra, incluso sin necesidad de que haya una ruptura en el espacio. Tal es exactamente la base del trabajo en topología; una idea fundamental que es ampliamente ignorada en campos de las ciencias sociales y humanas, específicamente en las arenas del institucionalismo, *lato sensu*. En primer lugar, eso: es perfectamente posible que una estructura determinada pueda ser transformada en otra; y en segunda instancia, se trata entonces de los juegos y posibilidades de justificación de la transformación. La topología no entra explícitamente en este terreno, aunque buena parte de la explicación estriba en el juego y los juegos de imaginación (Roberts, 2007). Pero el manejo del mundo, con sus miserias y sus grandezas sí demanda explícitamente una justificación. Particularmente cuando se trata de plantear la insostenibilidad, desde cualquier punto de vista, de una visión centralizada y piramidal de la realidad.

Otras topologías básicas son las topologías de estrella, bus, anillo, malla, doble anillo, mixta, y totalmente conexa. Dicho de manera negativa: no es inevitable que la única, y ni siquiera la mejor, con cualquier justificación que se quiera aducir, forma de organización sea la topología árbol. Sólo este reconocimiento ya constituye un avance grande.

La gran contribución de las ciencias de la complejidad

dad en general consiste en la puesta en evidencia de que la linealidad no es, desde ningún de vista, un fenómeno deseable ni necesario, en ningún sentido, ni en ningún plano o contexto que se considere. Por el contrario, la no-linealidad es la marca misma de la naturaleza, y aquella puede ser leída de diversas maneras al mismo tiempo: como atractor extraño, como fractalidad, como red compleja –específicamente, como red libre de escala-, como el proceso mismo mediante el cual in sistema determinado gana grados de libertad, y otras caracterizaciones. La complejidad de un fenómeno es directamente proporcional a los grados de libertad que tiene o que exhibe dicho fenómeno. Esta idea se origina en la física de sistemas autoorganizativos y alejados del equilibrio (= termodinámica del no-equilibrio) pero permea a numerosas ciencias y disciplinas y ha sido observada, recurrentemente, en la naturaleza, desde el comportamiento de moléculas y tejidos vivos, hasta las relaciones de diversas especies en un ecosistema determinado, hasta los sistemas de autoaprendizaje que se encuentran en la base de la robótica y la vida y la inteligencia artificiales.

El mundo descubierto por la ciencia de redes complejas es amplio, ubicuo y sorprendente a la vez. Quisiera destacar, de manera puntual, tres rasgos aquí. Estos son, la sincronización, la existencia de nexos libres de escala, y las conexiones que implican leyes de potencia. Estos tres rasgos son fundamentales para lograr una gestión modo complejo.

I) Sincronización. La sincronización comporta un tema perfectamente distinto al de la linealidad (o, si quiere, el de la linealización). Los sistemas simples están alineados; los sistemas complejos son sistemas sincronizados (Strogatz, 2003; Barabasi, 2011; cfr. Kuramoto model, web). La sincronización es un fenómeno que ha sido observado ya a partir de sistemas físicos, esto es, abióticos, pero que, a fortiori sucede en los sistemas orgánicos. Técnicamente, se trata del modelo Kuramoto, que estudia efectivamente transiciones irreversibles; estas tienen lugar tanto en el mundo físico como en el mundo de los fenómenos vivos. La sincronización es un fenómeno emergente espontáneo.

Evidentemente que la sincronización supone un comportamiento colectivo emergente, que no sabe para nada de centralidad, direccionamiento y demás, y que implica una pluralidad de agentes. Vale subrayar eso: la sincronización no implica, en absoluto, que haya un agente que sincronice (a otros); y que entonces derivativamente, organice, estructure. En otras palabras, la sincronización rompe en mil pedazos la idea de centralidad, verticalidad, lineamiento, planeación, liderazgo en cualquier acepción de la palabra, en fin, estrategia y demás herramien-

tas propias de los estudios sobre gestión en sentido amplio.

Los fenómenos de sincronía han sido observados en toda clase de fenómenos, sistemas y comportamientos, desde la física a la química, desde la biología a los sistemas humanos. Simple y llanamente, si puede decirse así, a la naturaleza en sentido amplio e incluyente, le encantan los procesos de sincronización. En el sistema solar o al interior del cuerpo humano, en la galaxia tanto como en metrónomos, en fin, en sistemas naturales o artificiales.

Como se desprende, sin dificultad, los fenómenos de sincronización comportan el reconocimiento de que la linealidad es un artificio, tanto como la necesidad de una cabeza, causa o agente que produzca la sincronía. Ciertamente que la sincronización es un descubrimiento reciente, pero el marco amplio en el que se sitúa es el del estudio de redes complejas.

ii) Redes libres de escala. En esta subsección queremos en realidad ocuparnos de los tres tipos principales de redes complejas, a saber: las redes libres de escala, las redes de mundo pequeño y las redes aleatorias. Las tres constituyen una sólida unidad consistente en mostrar, simple y llanamente que no todas las cosas están conectadas, sino, mucho mejor, que hay unas que están más conectadas con otras y otras más que están menos conectadas con las demás.

Propiamente hablando, toda red libre de escala es una red aleatoria cuya distribución corresponde a una ley de potencia. Por consiguiente, se trata del estudio de aquellas dinámicas y estructuras en las que existen algunos elementos diferenciales –propios de una ley de potencia- en el que todos cuentan, así sea con diferencias. De este modo deja de ser válido ese lenguaje según el cual hay algunas cosas o elementos o instancias “que son más importantes que otras”. Puede decirse, sin la menor dificultad que muchas redes complejas son libres de escala.

Como se aprecia sin ambages, saber de redes complejas comporta la posibilidad –por decir lo menos-, de dejar de asumir que hay niveles o espacios más importantes que otros, sin que ello implique, en absoluto, que todos los espacios, niveles o instancias son igualmente importante, sin más. La marca distintiva de un sistema compleja es, sin la menor duda, la presencia de una ley de potencia. Sería deseable que en la consideración acerca de sistemas de organización de cualquier índole se trabajara y se supiera de leyes de potencia, un tema en cuya base se encuentra la ley de Zip y los trabajos sobre fractalidad (Mandelbrot, 1997). Aquello

que emerge, consiguientemente, es la importancia de sistemas *irregulares* (Maldonado, 2020b). Una gestión modo complejo es gestión de irregularidades en el sentido técnico que se deriva de estas consideraciones.

iii) *Leyes de potencia*. Digámoslo de manera directa e inmediata. Las leyes de potencia dan lugar sistemas que técnicamente se denominan de criticalidad autoorganizada (SOC, por sus siglas en inglés), que es la forma misma como funciona la naturaleza (Bak, 1996). Todo parece indicar que las leyes de la naturaleza son simples, pero la naturaleza es compleja, lo que no es sino una manera de decir que la naturaleza en general se organiza autónoma, esto es, espontáneamente, en puntos y estados críticos a partir de los cuales tienen lugar transiciones de fase; esto es, transiciones de fase de primer orden y se dundo orden. En otras palabras, graduales y súbitas. El mundo es un entramado de sistemas de organización y no de caos, y todo tiene lugar de forma espontánea (*order-for-free*) (Kauffman, 2016).

Pensar en complejidad significa reconocer que existen fenómenos, estructuras y dinámicas espontáneas; esto es, que no obedecen, en manera alguna, al principio de causalidad. Esta no es sino una manera de decir que el azar cumple un papel constructivo en el comportamiento de los sistemas complejos, lo cual traducido al lenguaje de los sistemas humanos tiene un mensaje inmediato. Se trata del reconocimiento de que debemos poder *confiar* en fenómenos autoorganizativos, tanto más si ellos son la regla en la naturaleza. Los sistemas jerárquicos son la evidencia de un sistema de desconfianza, recelo, sospecha y recusaciones, todo un ambiente manifiestamente enfermizo y, ulteriormente, punitivo y policivo.

De esta suerte, las leyes de potencia, que se encuentran en la base de los sistemas autoorganizados –técnicamente dicho: sistemas de criticalidad autoorganizada-, constituyen la marca de un ambiente de confianza en los procesos y dinámicas (Luhmann, 1996), y por tanto, ponen de manifiesto la futilidad, por así decirlo, de sistemas de control. Simple y llanamente, en la naturaleza no existen, en modo alguno, sistemas control; antes bien, se trata de sistemas de regulación, de retroalimentación –positiva y negativa-, de co-evolución, en fin de aprendizaje recíproco y de adaptación. Precisamente por ello la ciencia de punta en general deja de hablar de leyes a cambio de patrones. Las leyes controlan –véase su origen semántico en el sistema legal y punitivo cuyos orígenes remiten a los fundamentos mismos de Occidente-, en tanto que los patrones (*patterns*), son evolutivos. En la base de la

fractalidad se halla un sistema de *iteración*. No otra cosa es la ecuación que produce fractales de Mandelbrot, a partir de las ecuaciones de Julia. La iteración es una operación que se hace sobre el espacio, análoga a las operaciones clásicas de reflexión, traslación y demás. La iteración de una ecuación produce patrones sugestivos: los fractales (pero lo mismo puede decirse a numerosos conjuntos (Cantor, Peano, Serpiensky, y otros).

Como se aprecia, las redes complejas, los sistemas de sincronía y las leyes de potencia constituyen una férrea unidad cuyo resultado es la emergencia de fenómenos autoorganizativos, esto es, no centralizados ni piramidales, en los que el control deja de existir o de jugar cualquier papel. En otras palabras, el estudio de la complejidad consiste, simple y llanamente, en observar de manera desprevenida pero alerta, a los fenómenos, dinámicas y estructuras de la naturaleza. De allí parecen emerger una serie de mensajes altamente significativos. Pues bien, lo mejor de la investigación de punta (*spearhead research*) pasa, nuclearmente, por el estudio y comprensión de los sistemas de complejidad creciente. Importantes como son, todos los temas de gestión –esto es, de gobierno, administración, gobernanza, y otros semejantes- deben saber de complejidad si, por decir lo menos, quieren generar un ambiente de confianza (“cultura organizacional” con base en la confianza), antes que en la sanción, la sospecha y el castigo. Las consecuencias que se siguen de un sistema de autoorganización son refrescantes y relajantes al mismo tiempo; y por ello mismo, se traducen en calidad de vida y en dignidad. Esto no es poco, en medio de tiempos de tensión, de inestabilidad, de mucha zozobra y desasosiego todo lo cual se condensa en el concepto de competencia y competitividad.

Dicho de manera escueta, una gestión compleja tiene lugar mucho más a la manera de la naturaleza que de la cultura, sin que ello implique una afirmación dualista. En una palabra, como se sigue de las líneas anteriores, una gestión compleja es un sistema carente de control. Una idea ciertamente escandalosa o contraintuitiva cuando se la mira con los ojos del pasado o de la ciencia normal o del sentido común. Volveremos sobre esta idea.

3. Heterarquía: un asunto complejo, en el sentido preciso de la palabra

El desplazamiento, radical y, queremos pensarlo, irreversible, de sistemas de control centralizado hacia sistemas carentes de control puede ser igualmente entendido gracias al estudio de la heterarquía. Este desplazamiento es posible, y queremos incluso sugerir que es deseable dada toda la historia de violencia, abierta y simbólica de la historia de Occidente con sus conse-

cuencias de inequidad, injusticia, pobreza y violación de los derechos humanos (= dignidad y calidad de la vida).

Mientras que la jerarquía es un concepto que permea a la totalidad de la civilización occidental –abierta o tácitamente–, la antropología y la historia –esas dos ciencias políticamente incorrectas–, han venido a poner de manifiesto, recientemente, el papel de la heterarquía en la forma de organización y de gobierno de pueblos, culturas y civilizaciones, digamos, no occidentales y de manera profusa (Kurnik and Baron, 2016; Langebek, 2019; Hüsken, 2019; Izquierdo y de la Cueva, 2018; Ugalde y Landázuri Narváez, 2016). El mensaje que inmediatamente salta ante la mirada atenta es el de la importancia de la antropología, la historia e incluso la microhistoria. Digámoslo en términos fuertes: mucho antes y por encima de los estudios ingenieriles, administrativos, financieros, de política pública y de estrategia, en cualquier acepción de la palabra.

Las comunidades, sociedades, pueblos y culturas que se han organizado en términos de heterarquía reconocen que la jerarquía es una función, transitoria, por consiguiente, no un estado, y que por su impermanencia está definida a partir de las circunstancias, los eventos, las contingencias o las necesidades, según el caso. De manera significativa, los sistemas heterárquicos han sido observados también en numerosas especies de animales (Sheldrake, 2012). De base, las heterarquías han sido reconocidas ya desde la teoría ecológica, por lo menos en los últimos veinte años (Cumming, 2016).

Pues bien, quiero argumentar que la heterarquía sí contradice a la jerarquía (en contraste con la tesis doctoral de Bernal, cfr. file:///C:/Users/cemca/Downloads/Bernal%20Velez.pdf), de la misma manera como las redes complejas contradicen también a la jerarquía. Una gestión modo complejo es gestión a la manera de la naturaleza, en marcado contraste con la imagen distintivamente antropocéntrica en la que el mundo y la sociedad se organizaron en el pasado, hasta el día de hoy, en Occidente. Dicho sin más, una gestión compleja es autogestionaria, en el modo mismo como la naturaleza es un sistema autoorganizado.

El estudio de las heterarquías es el resultado de trabajos en antropología, etnología, etnografía, epigrafía y paleografía, principalmente, específicamente a partir de comienzos del siglo XXI, si bien existen algunos trabajos, incipientes, de finales del siglo XX. Si la administración, en el sentido amplio de la palabra es la hija (putativa) de la ingeniería clásica, de la física clásica y de la mecánica estadística –eso son Forrester, Ford, Taylor, Fayol y toda la historia que conduce incluso, hoy en día, hasta Porter–, a fin de aprender acerca de redes y complejas bien valdría la pena que supiera de antropología, sociología, microhistoria, mucha psicología y otros campos próximos y semejantes. No en última instancia, la administración en el sentido más amplio e

incluyente de la palabra debería poder saber también de ecología. En verdad, en la naturaleza no existen jerarquías, y ciertamente no verticalidad y centros (y, relativamente, periferias). Por el contrario, la naturaleza se organiza en términos de flujos, correlaciones, bucles de retroalimentación positiva y negativa, transiciones de fase, ciclos y dinámicas no-lineales, coevolución, coaprendizaje, mutualismo, comensalismo y cooperación. Y por ello mismo la naturaleza funciona muy bien; de lejos, inmensamente mejor que la cultura humana; por lo menos, sin duda alguna, la de Occidente, que incluye al sistema de libre mercado y al neoliberalismo como sus mejores y más acabadas expresiones. La naturaleza sabe organizarse de forma bastante más armónica que como lo han hecho los seres humanos, por lo menos en los últimos cinco mil años. La heterarquía es organización de la cosa humana en términos de sistemas naturales.

En verdad, en los sistemas heterárquicos existe, naturalmente, rendición de cuentas (*logos didomai; accountability*), pero hacia abajo y hacia los lados. No existen instancias superiores en las heterarquías, sólo horizontalidad y responsabilidad hacia las instancias así llamadas inferiores. Al fin y al cabo, lo que hay a los lados y hacia abajo es gente, seres humanos, procesos vivos, y es hacia ellos que se distribuyen las responsabilidades y la rendición de cuentas del buen manejo de los asuntos que tienen que ver con el convivio, en sentido amplio, profundo y fuerte.

De lejos, el tema más amplio en las heterarquías, tanto como en las redes sociales es la confianza. En contraste, los sistemas jerárquicos están definidos por el control y la manipulación. En efecto, temas como liderazgo (de distinto tipo), planeación, estrategia, Misión, Visión, himno, objetivos, planes y programas, bandera y otros más se definen frontalmente de cara al control: son mecanismos de control. Pues bien, no hay nada más alejado de la complejidad y de la vida.

Las redes complejas –una de las ciencias de la complejidad– y las heterarquías son sistemas autogestionarios; en el horizonte, y esto es algo que cuesta a muchos, entender, son igualmente sistemas anárquicos; esto es, sistemas libres, sin controles, no verticales, no directivos, punitivos y policiales. En el lenguaje de la complejidad un sistema autogestionario es un sistema autoorganizativo. La organización se define en función de las necesidades, las circunstancias, los avatares. No existen funciones fijas, y tampoco puestos determinados de actividad. Un sistema complejo es esencialmente adaptativo porque tiene la capacidad de aprender (Maldonado, 2021).

Existen, alrededor del mundo, numerosas experiencias autogestionarias: en Francia tanto como en la India, en Japón y en Nueva York, y desde luego, en México, Brasil o Colombia, por ejemplo. (Véase: algunos

sistemas autogestionarios, al final, en las referencias bibliográficas. Un texto que compile y estudie entonces las diversas experiencias autogestionarias alrededor del mundo sería el objeto de un artículo aparte). En semejantes experiencias de autogestión emergen sistemas alternativos de educación, de economía, de formas de vida, de relacionamientos, axiológicas y éticas de sistemas monetarios, en fin, de relaciones con la naturaleza. Lo verdaderamente interesante radica en el hecho de que todas las experiencias autogestionarias que están teniendo lugar en el mundo se observan unas a otras, aprenden, se multiplican se fortalecen y comienzan a convertirse en evidencias de un nuevo tipo de civilización en emergencia¹.

En cualquier caso, una gestión modo complejo tiene lugar a través de cualesquiera de los planos mencionados: como una red compleja o bien como heterarquía. Pues bien, hay un elemento absolutamente importante que define a las redes complejas y a las heterarquías, en marcado contraste con los sistemas jerárquicos (Cumming, 2016). Se trata de la importancia del *open data*. En efecto, la información abierta, compartida, horizontal o incluso con un compromiso de apertura hacia los niveles inferiores es algo que no existe, en absoluto en los sistemas piramidales y directivos. Todo lo contrario. Las asimetrías de información, como ya está suficientemente estudiado (Baker, 2008; Snowden, 2019) implican sistemas de control, de vigilancia, de manipulación y de violencia.

Una política de datos abiertos –*Open Access*– comporta un sistema de confianza, de transparencia, y una forma de democracia como jamás existió en la historia de Occidente. Y que, sin embargo, sí existió entre las culturas mesoamericanas: los olmecas y toltecas, los mayas, los muiscas y los incas, notablemente. Las redes complejas y la heterarquía significan, simple y sencillamente, un respeto hacia los demás, en el que la ética y la política no son simplemente discurso y representaciones, sino compromiso y actividad co-responsable. Lo apasionante es que experiencias semejantes de heterarquía comienzan a hacerse extensivas, hoy en día, a otras culturas y en otras geografías (Wynnycky, 2020; Fichera, 2020).

La implementación de un sistema de gestión modo complejo es el verdadero reconocimiento del otro en sus diferencias y comunidad, y la conformación de una atmósfera de transparencia. Como se aprecia, una historia radicalmente posible con respecto a la historia de los últimos dos mil quinientos años. Un motivo de optimismo.

En verdad, aquello de lo cual se trata verdadera-

¹ Trabajo actualmente en un texto que se ocupa exactamente de este tema para un capítulo de libro al que he sido invitado y que se publicará en la Universidad Nacional de Colombia en el año 2022, en torno a bioeconomía.

mente en las tomas de decisión, en las acciones y en las formas de organización es de vida; mucho más que de recursos, dineros, energías, materiales, bienes, cadenas de valor, clima y cultura organizacional y demás. Una democracia verdadera, al interior de las empresas, las organizaciones, las instancias públicas y de gobierno, al interior de las iglesias, los ejércitos y las fuerzas de policía, los equipos deportivos y demás, no es otra cosa que un ejercicio de datos abiertos y acceso abierto a la información, y las acciones que se siguen de ello. Sin jerarquías, sin secretismo, sin ocultamientos de ninguna índole. Como se aprecia sin dificultad existe una doble o recíproca puerta de acceso a una gestión modo complejo; o bien desde políticas abiertas y transparentes de información en toda la línea de la palabra, o bien en términos de organización de estructuras, niveles, modos, espacios, dinámicas y responsabilidades en términos de redes libres de escala tanto como de heterarquía.

Sin dilaciones, un modo de gestión semejante es el modo mismo de funcionamiento y estructuración de la naturaleza; esto es, de los ecosistemas, los nichos ecológicos, los biomas, en fin, los microclimas. Contra políticas de corte ingenieril del tipo *WeWork* y *TheBestPlacetoWork*, y otros semejantes, un buen “clima organizacional” es, sin la menor duda, un clima de transparencia, no de opacidad, de acercamiento y no de distancias, sino de horizontalidad; y siempre no de jerarquías. Una cultura organizacional no puede ser, en absoluto, distinta a una cultura de vida, *lato sensu*, y en el sentido más fuerte de la palabra; esto es, una cultura de gratificación, exaltación, posibilitamiento de la vida misma, libertad, dignidad, calidad y alegría de vida. Como se aprecia, todo lo opuesto a las ingenierías en boga. Una ingeniería modo complejo –que se dice entonces como ingeniería de sistemas complejos (*complex engineering systems*) (Maldonado, Gómez Cruz, 2012; Maldonado-Gómez-Cruz, 2011)– invita a dirigir la mirada, mucho más que hacia un cambio organizacional simplemente, hacia una transformación civilizatoria.

En una palabra, el tema de base de una gestión modo complejo consiste en el reconocimiento de que de lo que se trata es de transformar las organizaciones como una forma de transformar el mundo. De abajo hacia arriba, de un lado hacia el otro, y sin que exista, física y sobre todo simbólicamente, un arriba. En el universo, hay que recordarlo, no existe arriba ni abajo, a la izquierda o a la derecha. El universo no se encuentra en ninguna parte. Él mismo es el tiempo y el espacio. El universo, la naturaleza: lo mismo da.

Sin editorializar, otra democracia es posible, otras formas de organización son posibles, otros estilos, estándares y formas de vida son posibles. Todo ello pasa por las formas de estructura y dinámica de las organizaciones humanas; desde la familia hasta los asuntos

mundiales, pasando por los niveles local, regional y nacional. La historia de la violencia –abierta o tácita, física o simbólica- de los sistemas jerárquicos y piramidales debe ser dejada atrás irreversiblemente. Se trata, sin más ni más, de mirar hacia adelante una historia de gratificación de la vida – de la vida humana tanto como de la vida en general sobre el planeta-.

4. Conclusiones: una gestión compleja es gestión de vida

El control jerárquico corresponde a una organización del mundo con base en la geometría euclidiana. Pues bien, hay que decir que la geometría de la naturaleza (Mandelbrot, 1997), tanto como la geometría de los pueblos primitivos o aborígenes son una geometría no-euclidiana. Una organización del mundo y la sociedad en términos piramidales es sencillamente antinatural, y por ello mismo, violenta. He argumentado aquí en favor de una organización del mundo acorde a la naturaleza. Las dos expresiones que inmediatamente aparecen son las redes complejas y la heterarquía. Occidente no supo, en su historia oficial, nunca acerca de las mismas. Dicho esto, la heterarquía, las redes complejas y la autoorganización constituyen alternativas a la historia occidental de organizar las cosas – las humanas y las naturales.

Afirmar la necesidad de estructuras jerárquicas es un total error; el problema estriba en realidad en que un error semejante se traduce inmediatamente en la implementación de un sistema de cosas injustas y que genera sufrimiento en las gentes. Un sistema cualquiera que produzca sufrimiento entre los seres humanos, y de consuno, destrucción de la naturaleza carece de cualquier justificación. Se impone, sin restricciones, la transformación de un sistema semejante. Pues bien, es exactamente en este punto en donde entra la complejidad.

Una gestión modo complejo –gestión de la educación, de los asuntos espirituales, de la economía, de los procesos psicológicos y emocionales, incluso de los temas militares o de policía cuando estos son necesarios, una organización de los asuntos públicos y de los asuntos comunes (*commons*) (Ostrom, 1995)²; en fin, una gestión y gobierno de los asuntos humanos y no humanos- radica en el reconocimiento explícito acerca de la vacuidad de un sistema organizacional de tipo vertical y directivo de gestión, y el llamado, por el contrario, a la autoorganización, la autogestión y la confianza, todo lo cual no es, simple y llanamente sino un llamado a la autonomía y el aprendizaje.

² Hay que decir que E. Ostrom no sabe para nada de heterarquía ni de redes complejas. La referencia aquí a su trabajo se basa en la importancia de los bienes comunes, en contraste con los bienes públicos y los bienes privados.

La complejidad comporta un modo perfectamente distinto de pensar y de vivir. Dicho en términos epistemológicos, se trata de aprender a pensar sin categorías, pues las categorías clasifican ordenan, jerarquizan, y así, congelan las cosas. Pensar sin categorías se traduce, existencial o experiencialmente como una relación horizontal, sin instancias superiores en manera alguna. Pues bien, la historia de la ciencia y la filosofía coinciden tanto en la importancia y la necesidad de las categorías, como en formas de vida que asumen, abierta o tácitamente, centralidades y jerarquías. En contraste, se trata de comenzar a aprender a pensar y vivir como la naturaleza, lo cual es bastante más y muy distinto simplemente a la ciencia, la tecnología y la filosofía. Un destello de sabiduría emerge entonces. Es, justamente, lo que comporta una gestión modo complejo.

Bibliografía

- Aime, F., Humphrey, S., Scott Derue, D., and Paul, J. B., (2014). "The riddle of heterarchy: power transitions in cross-functional teams", en: *The Academy of Management Journal*, April, Vol. 57, No. 2, pp. 327-352; doi: <http://dx.doi.org/10.5465/amj.2011.075>
- Alexandrov, P., (1961). *Elementary Concepts of Topology*. New York: Dover
- Annushkina, O. E., Regazz, A., (2020). *The Art of Going Global A Practical Guide to a Firm's International Growth*. Palgrave Macmillan; doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-21044-1>
- Baker, S., (2008). *The Numerati*. London: Jonathan Cape
- Barabasi, A.-L., (2003). *Linked. How Everything is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. New York: Plume
- Barabasi, A.L., (2011). *Bursts. The Hidden Patterns Behind Everything We Do, from Your E-mail to Bloody Crusades*. New York: Plume
- Barrat, A., Barthélemy, M., Vespignani, A., (2008). *Dynamical Processes on complex networks*. Cambridge: Cambridge University Press
- Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G., (1999). *Swarm Intelligence. From Natural to Artificial Systems*. New York-Oxford: Oxford University Press
- Byers, A. M., (2011). *Sacred Games, Death, and Renewal in the Ancient Eastern Woodlands: The Ohio Hopewell System of Cult Sodality Heterarchies*. AltaMira Press
- Cayón, L., (2020). "Disputas fraternas e chefia bicéfala: Hierarquia e heterarquia no Alto Rio Negro", en: *Rev. antropol.* (São Paulo, Online), v. 63 n. 2: e151160; doi: <http://dx.doi.org/10.11606/2179-0892.ra.2020.171366>
- Chandrashekar Smitha, K., (ed.), (2017). *Entrepreneurial Urbanism in India The Politics of Spatial Restructuring and Local Contestation*. Springer Verlag; doi: [10.1007/978-981-10-2236-4](https://doi.org/10.1007/978-981-10-2236-4)

- Crumley, C. L., (2005). "Remember How to Organize: Heterarchy Across Disciplines", en: *Nonlinear Models for Archaeology and Anthropology: Continuing the Revolution*, edited by Christopher S. Beekman. Taylor & Francis Group
- Cumming, G. S., (2016). "Heterarchies: Reconciling Networks and Hierarchies. Review", en: *Trends in Ecology & Evolution*, Agosto, Vol. 31, No. 8, págs. 622-632; doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2016.04.009>
- Fichera, M., (2020). "Solidarity, Heterarchy, and Political Morality", en: *Jus Cogens* (2020) 2:301-311; doi: <https://doi.org/10.1007/s42439-020-00019-w>
- Focroulle, B., Legros, R., Todorov, T., (2005). *El nacimiento del individuo en el arte*. Buenos Aires: Ed. Nueva Visión
- Gauthier, D., (1998). *Egoísmo, moralidad y sociedad liberal*. Barcelona: Paidós
- Goody, J., (2006). *The Theft of History*. Cambridge: Cambridge University Press
- Graham Flegg, H., (1974). *From Geometry to Topology*. New York:; Dover
- Hüsken, Th., (2019). *Tribal Politics in the Borderland of Egypt and Libya*. Palgrave Macmillan
- Izquierdo y de la Cueva, A. L., (2018). "Heterarquía y unidades corporativas. Instituciones del gobierno interno maya", en: *Estudios de cultura maya LI*, págs. 11-42; doi: [10.19130/iifl.ecm.2018.51.855](https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.2018.51.855)
- Kauffman, S., (2016). *Humanity in a Creative Universe*. Oxford: Oxford University Press
- Kurnick, S., and Baron, J., (2016). *Political Strategies in Pre-Columbian Meso-America*, Ed. S., Boulder, University Press of Colorado
- Langebaek, C., (2019). *Los Muiscas. La historia milenaria de un pueblo chibcha*. Bogotá: Debate
- Lasa López, A., (2018). "Potencialidades del pilar europeo de derechos sociales en la praxis jurisprudencial del juez de Estrasburgo: entre la heterarquía vínculo social-vínculo económico y la disfuncionalidad", en: *Teoría y Realidad Constitucional*, núm. 42, 2018, pp. 609-631
- Lévêque, P., (Dir.), (2012). *Las primeras civilizaciones. De los despotismos orientales a la ciudad griega*. Madrid: Akal
- Luhmann, N., (1996). *Confianza*. Barcelona: Anthropos
- Macpherson, C. B., (2005). *La teoría política del individualismo posesivo*. Madrid: Trotta
- Maldonado, C. E., (2021). "Las organizaciones inteligentes son organizaciones que saben de complejidad", en: *Revista Ciencias de la Complejidad*, No. págs. 81-92, doi: <https://10.48168/cc012021-008>
- Maldonado, C. E., (2020a). *Occidente, la civilización que nació enferma*. Bogotá: Desde Abajo
- Maldonado, C. E., (2020b) "Ciencias sociales irregulares", en: *Cinta de moebio* 68: 146-155; doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-554X2020000200146>; disponible en: <file:///C:/Users/cemca/Downloads/58586-193-199852-1-10-20200914.pdf>
- Maldonado, C. E., Gómez-Cruz, N., (2012). (2012f) "The Complexification of Engineering", en: *Complexity*, Vol. 17, Issue 4 (March-April), pp. 8-15; <http://onlinelibrary.wiley.com>; doi: <http://10.1002/cplx.v17.4/issuetoc>
- Maldonado, C. E., Gómez-Cruz, N., (2011). "Biological Computation: A Road to Complex Engineered Systems"; capítulo de libro, en: Sayama, H., Minai, A., A., Braha, D., and Bar-Yam, Y., (Eds.), *Unifying Themes in Complex Systems. Volume VIII: Proceedings of the Eighth International Conference on Complex Systems*. New England Complex Systems Institute Series on Complexity, págs. 918-927, NECSI Knowledge Press, ISBN 978-0-9656328-4-3 <http://necsi.edu/events/iccs2011/proceedings.html>
- Mandelbrot, B., (1997). *La geometría fractal de la naturaleza*. Barcelona: Tusquets
- Mezza-García, N., Maldonado, C. E., (2015). "Crítica al control jerárquico de los regímenes políticos: complejidad y topología", en: *Desafíos*, (27-1), págs. 121-158, ISSN 0124-4035; ISSN 2145-5112; doi: <https://doi.org/10.12804/desafios27.01.2015.04>
- Nicolis, G., Nicolis, C., (2007). *Foundations of Complex Systems. Nonlinear Dynamics. Statistical Physics, Information and Prediction*. World Scientific
- Nicolis, G., Prigogine, I., (1994). *La estructura de lo complejo. En el camino hacia una nueva comprensión de las ciencias*. Madrid: Alianza
- Ostrom, E., (1995). *Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge: Cambridge University Press
- Pini-Fitzsimmons, J., Knott, N. A., and Brown, C., (2021). "Heterarchy Reveals Social Organization of a Smooth Stingray (*Bathytoshia brevicaudata*) Population in a Provisioned Food Context", en: *Frontiers in Marine Science*, abril, vol 8, article 641761; doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.641761>
- Roberts, S., (2007). *King of Infinite Space. Donald Coxeter, The Man Who Saved Geometry*. London: Profile Books
- Schoelhammer, S., (2020). *Innovation Exposed. Case Studies of Strategy, Organization and Culture in Heterarchies*. Springer Verlag; doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-29335-2>
- Sheldrake, R., (2012). *The presence of the past. Morphic resonance and memory of nature*. Rochester-Toronto: Park Street Press
- Snowden, E., (2019). *Vigilancia permanente*. Bogotá: Planeta
- Strogatz, S., (2003). *Sync. How Order Emerges from Chaos in the Universe, Nature, and Daily Life*. New York: Theia
- Ugalde, M. F., y Landázuri Narváez, C., (2016). "Sociedades heterárquicas en el Ecuador preincaico: estudio diacrónico de la organización política caranqui", en: *Revista española de antropología americana*, vol. 46, págs. 197-218; doi: <http://dx.doi.org/10.5209/>

REAA.58294

Watts, D. J., (2003). *Six Degrees. The Science of a Connected Age*. New York-London: W. W. Norton & Company

Wynnycky, M., (2020). "Unravelling the Ukrainian Revolution: "Dignity," "Fairness," "Heterarchy," and the Challenge to Modernity", en: *Kyiv-Mohyla Humanities Journal* 7, págs. 123-140

Páginas web:

Kuramoto model: A non-linear dynamics exercise: ht-

[tps://www.youtube.com/watch?v=43OIZJ8OyGM](https://www.youtube.com/watch?v=43OIZJ8OyGM)

Algunos sistemas autogestionarios:

<https://www.restosducoeur.org/>

<https://www.awesomefoundation.org/en/projects/66523-barter-market>

<https://asia.nikkei.com/Economy/The-truth-behind-India-s-new-barter-economy>

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_alternative_universities

<https://zad.nadir.org/?lang=es>

Ciencias de la complejidad

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA**

Unidad de investigación de la Facultad de Economía

cienciasdelacomplejidad@unsa.edu.pe

<http://fec.unsa.edu.pe/revista-ciencias-de-la-complejidad/>

www.unsa.edu.pe

Arequipa - Perú