

LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD Y EL AULA: UN ENFOQUE  
ALTERNATIVO EN LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

JHONNY ALEXANDER ORTEGON MORENO

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
LICENCIATURA EN QUÍMICA  
BOGOTÁ  
2019

LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD Y EL AULA: UN ENFOQUE  
ALTERNATIVO EN LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

JHONNY ALEXANDER ORTEGON MORENO

Trabajo de grado tipo MONOGRAFÍA DE INVESTIGACIÓN presentado como  
requisito para optar al título de Licenciado en Química

Línea de investigación: Las Ciencias de la Complejidad y el Aula – Avances,  
dinámicas y realidades en las ciencias; Grupo de Investigación  
ALTERNACIENCIAS

Director

Luis Alberto Castro Pineda

Magister en educación con énfasis en docencia universitaria, profesor del  
departamento de Química - UPN

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
LICENCIATURA EN QUÍMICA  
BOGOTÁ  
2019

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Evaluador 1

---

Evaluador 2

---

Director

Bogotá, 09 de junio 2020

## DEDICATORIA

*La presente monografía de investigación la quiero dedicar a mi familia, por su apoyo incondicional.*

*En particular a mi Madre Consuelo Moreno P. y Padre Alexander Ortega G. por sus consejos y enseñanzas que marcan mi personalidad,*

*Hermanos: Ibeth Ortega M y L. Felipe Ortega M, una sonrisa y complicidad en cada paso de nuestras vidas.*

*Igualmente, a cada uno de los profesores que me guiaron hasta alcanzar mi segundo paso a nivel profesional, desde el Prof. Raúl, la Profe Mercedes, hasta el Prof. Leonardo Martínez., y claro, un tal Abel Rincón.*


*Un apartado especial al Prof. Luis Albert Pineda Castro, por mostrarme el mundo de los sistemas complejos, cada una de sus palabras, han redefinido mi perspectiva sobre el mundo; autoorganización y emergencia conceptos claves ahora en mi vida.*

*Finalmente, un espacio en esta monografía para un Gallo.*

*“Lo que más me sorprende del hombre occidental, es que pierda la salud para ganar dinero, después pierde el dinero para recuperar la salud [...] y por pensar ansiosamente en el futuro no disfruta el presente, por lo que no vive ni en el presente ni en el futuro [...] viven como si no tuviesen que morir nunca, y mueren como si nunca hubieran vivido” Dalái lama*

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al semillero de investigación Alternancias, por fortalecer mis habilidades investigativas, dando un enfoque diferente a mi labor docente, a los profesores investigadores del grupo ALTERNANCIAS por los aportes a la investigación, y finalmente, a los profesores vinculados indirectamente con la línea de investigación “Las Ciencias de la Complejidad y el Aula – Avances, dinámicas y realidades en las ciencias” que dieron el contexto y primeros pasos en este camino.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Investigación - Innovación - Formación</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 6 de 82	

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD Y EL AULA: UN ENFOQUE ALTERNATIVO EN LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS
<b>Autor(es)</b>	Ortegon Moreno, Jhonny Alexander
<b>Director</b>	Castro Pineda, Luis Alberto
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2019. 64 p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD; COMPLEJIZACIÓN DE LA EDUCACIÓN, EDUCACIÓN EN CIENCIAS, EDUCACIÓN EN EL SIGLO XXI, SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

<b>2. Descripción</b>
<p>Trabajo de grado tipo monografía de investigación que propone una aproximación teórica que permite una clara comprensión de conceptos, modos y enfoques que desde las ciencias de la complejidad pueden ser aplicados a la educación en ciencias, bajo el sentido indisciplinar y autoorganizado del conocimiento, características de la complejización de la educación.</p> <p>Así, la monografía se centra en la cuarta revolución industria que deriva en la sociedad del conocimiento, basada en tecnologías convergentes y construcción colectiva del conocimiento, que está redefiniendo nuestras relaciones, interés, y necesidades sociales, consecuencia de la conectividad y fácil acceso a la información que reflejan la complejidad creciente del mundo, por ende, retos que la educación debe afrontar en el siglo XXI.</p>

### 3. Fuentes

- Aloi, D. (2005, September 28). Cornell researchers receive \$2 million federal grant for computational social sciences project using Web archive. Retrieved May 14, 2020, from <https://news.cornell.edu/stories/2005/09/cybertools-project-receives-2-million-nsf-grant>
- Anderson, P. W. (1972). More Is Different. *Science*, 177(4047), 393–396. <https://doi.org/10.1126/science.177.4047.393>
- Bakker, C., & Montessori, N. (2016). *Complexity in Education : From Horror to Passion*. Utrecht: Sense Publishers.
- Bar-Yam, M., Rhoades, K., Booth Sweeney, L., & Kaput, J. (2002). Complex Systems Perspectives on Education and the Education System. *New England Complex Systems Institute*. Retrieved from <https://necsi.edu/changes-in-the-teaching-and-learning-process-in-a-complex-education-system>
- Bar-Yam, Y. (2004). *Making things work : solving complex problems in a complex world*. New York: Knowledge Press.
- Barrows, H. S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20(6), 481–486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x>
- Beard, A. (2019). *Otras formas de aprender : qué funciona en educación y por qué*. Madrid: Plataforma Actual.
- Beltrán-Villamizar, Y. I., Martínez-Fuentes, Y., & Vargas-Beltrán, Á. (2015). El sistema educativo colombiano en el camino hacia la inclusión. Avances y retos. *Educ. Educ*, 18(1), 62–75. <https://doi.org/10.5294/edu.2015.18.1.4>
- Benedik, C. (2019). *The Technology Trap: Capital, Labor, and Power in the Age of Automation*. Oxford: Princeton University Press.
- Benedikt Frey, C. (2019). *The Technology Trap: Capital, Labor, and Power in the Age of Automation*. *The Economic Record*. Oxford: Princeton.
- Benedikt Frey, C., & Osborne, M. A. (2013). The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Oxford Martin School, University of Oxford*, 72. Retrieved from [https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The\\_Future\\_of\\_Employment.pdf](https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf)
- Blindé, J. (2005). *Hacia las sociedades del conocimiento : informe mundial de la Unesco*. UNESCO. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000141908>
- Boluda López, P. (2011). *Creación de conocimiento en el aula mediante el uso de las TIC. Un estudio de caso sobre el proceso de aprendizaje*. Universidad Rovira I Virgili.

Retrieved from <http://www.tesisenred.net/handle/10803/42936>

Bybee, R. W. (2010). *The teaching of science : 21st century perspectives*. New York: National Science Teachers Association.

Capra, F. (1998). *La trama de la vida, Una nueva perspectiva de los sistemas vivos. La trama de la vida*. Barcelona: Anagrama, S.A. <https://doi.org/N.D>

Castells, M. (2005). *La Era de la Información: Economía, sociedad, y cultura* (Vol. 1). Alianza Editores.

Christensen, C., Johnson, C., & Horn, M. (2008). *Disrupting Class: How Disruptive Innovation Will Change the Way the World Learns* (1st ed.). New York: McGraw-Hill Education.

Claret Zambrano, A., Iveth Salazar, T., Candela, B. F., & Yurani Villa, L. (2017). Estado del arte de la investigación en educación en Colombia: Un caso de los programas de formación doctoral en la nación. *TED: Tecné, Episteme y Didaxis*, (41), 57–71. <https://doi.org/10.17227/01203916.6032>

Clarke, A., & Collins, S. (2007). Complexity science and student teacher supervision. *Teaching and Teacher Education*, 23(2), 160–172. <https://doi.org/10.1016/J.TATE.2006.10.006>

Danforth, C. M. (2013, April). Chaos in an Atmosphere Hanging on a Wall. Retrieved May 16, 2020, from <http://mpe.dimacs.rutgers.edu/2013/03/17/chaos-in-an-atmosphere-hanging-on-a-wall/>

De Domenico, M., Brockmann, D., Camargo, C., Gershenson, C., Goldsmith, D., Jeschonnek, S., ... Sayama, H. (2019). Complexity Explained, 1–20. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/TQGNW>

DeChurch, L. A., & Mesmer Magnus, J. R. (2010). The Cognitive Underpinnings of Effective Teamwork: A Meta-Analysis. *Journal of Applied Psychology*, 95(1), 32–53. <https://doi.org/10.1037/a0017328>

Delval, J. (2013). La escuela para el siglo XXI. *Sinéctica*, (40), 1–18. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-109X2013000100004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-109X2013000100004)

Dimate Rodriguez, C. (2007). La educación como objeto de interés para las ciencias de la complejidad. *Folios*, 2(26), 83–91.

Érdi, P. (2008). *Complexity explained*. Springer; Edición. Heidelberg: Springer, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-35778-0>

Fahim, M., & Abbasi Talabari, F. (2014). Chaos/Complexity Theory and Education Mansour Fahim. *Journal of English Language Teaching and Learning*, (13), 43–56. Retrieved from <http://www.inclusional-research.org/comparisons4.php>



- Gaenza Chávez, A. D. (2018). Respondiendo a los problemas complejos de las ciudades. *Economía Creativa*, (10), 126–146. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6808643>
- García Sevilla, J. (2008). *El aprendizaje basado en problemas en la enseñanza universitaria*. Barcelona: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=353692>
- Gershenson, C., & Heylighen, F. (2005). How can we think the complex? In K. Richardson (Ed.), *Managing the Complex* (Vol. 1, pp. 47–62). Philosophy, Theory and Application. (Institute for the Study of Coherence and Emergence/Information Age Publishing).
- Goldenfeld, N., & Kadanoff, L. P. (1999). Simple Lessons from Complexity. *Sciencemag*, 284, 87–89. Retrieved from [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)
- Golinkoff, R. M., & Hirsh-Pasek, K. (2016). *Becoming brilliant : what science tells us about raising successful children* (1st ed.). Filadelfia: American Psychological Association (APA).
- Gorbalenya, A. E., Baker, S. C., Baric, R. S., de Groot, R. J., Drosten, C., Gulyaeva, A. A., ... Ziebuhr, J. (2020, April 1). The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nature Microbiology*. Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41564-020-0695-z>
- Gutiérrez Campos, L. (2012). Conectivismo como teoría de aprendizaje: conceptos, ideas, y posibles limitaciones. *Revista Educación y Tecnología*, 1, 111–122.
- Hamdan, S. (2013, November 10). Children Thrive in Rural Colombia's Flexible Schools. Retrieved May 19, 2020, from <https://www.nytimes.com/2013/11/11/world/americas/children-thrive-in-rural-colombias-flexible-schools.html>
- Harari, Y. N. (2014). *De animales a dioses: breve historia de la humanidad*. (J. Ros, Ed.) (Primera). Bogotá: Debate.
- Harari, Y. N. (2018). *21 lecciones para el siglo XXI . Veintiún lecciones para el siglo XXI*. Madrid: Debate.
- Harlen, W. (Ed.). (2010). *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias*. Buenos Aires: Ashford Colour Press Ltd. Retrieved from [www.ase.org.uk](http://www.ase.org.uk)
- Hederich Martínez, C., López Vargas, O., Hernández Barrios, A., Drachman, R., De Groot, R., Sanabria Rodríguez, L. B., ... Gamboa Sarmiento, S. C. (2014). *Educación y Tecnologías de la Información y la Comunicación*. (Angela Camargo, Ed.). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, Doctorado Interinstitucional en Educación. DIE. Retrieved from <http://editorial.pedagogica.edu.co/docs/files/catedra>

[3 baja.pdf](#)

- Heylighen, F. (2002). The Science of Self-organization and Adaptivity. In L. D. Kiel (Ed.), *Knowledge Management, Organizational Intelligence and Learning, and Complexity*. Oxford: The Encyclopedia of Life Support Systems ((EOLSS). Retrieved from <http://www.eolss.net>
- Heylighen, F., Cilliers, P., & Gershenson, C. (2006). Complexity and Philosophy. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/cs/0604072>
- Hung, W. (2013). Team-based complex problem solving: a collective cognition perspective. *Educational Technology Research and Development*, 61(3), 365–384. <https://doi.org/10.1007/s11423-013-9296-3>
- Jackson, M. O. (2019). *The human network : how your social position determines your power, beliefs, and behaviors*. New York: Pantheon.
- Kauffman, S. A. (1995). *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. New York: Oxford University Press.
- Khan, S. (2011, March). Usemos el video para reinventar la educación | TED Talk. *TED*. Retrieved from [https://www.ted.com/talks/sal\\_khan\\_let\\_s\\_use\\_video\\_to\\_reinvent\\_education?language=es](https://www.ted.com/talks/sal_khan_let_s_use_video_to_reinvent_education?language=es)
- Khan, S. (2019). *La escuela del mundo : una revolución educativa*. Madrid: Planeta.
- Kraaijenbrink, J. (2019). Strategy In A Complex World. Retrieved May 18, 2020, from <https://www.forbes.com/sites/jeroenkraaijenbrink/2019/02/05/strategy-in-a-complex-world/#5c539cc41e39>
- Kumpula, J. M., Onnela, J. P., Saramäki, J., Kaski, K., & Kertész, J. (2007). Emergence of communities in weighted networks. *Physical Review Letters*, 99(22), 228701. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.99.228701>
- Lederman, N. G., Lederman, J. S., & Antink, A. (2013). Nature of Science and Scientific Inquiry as Contexts for the Learning of Science and Achievement of Scientific Literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), 138–147. Retrieved from [www.ijemst.com](http://www.ijemst.com)
- Liu, D., Bhagat, K. K., Gao, Y., Chang, T.-W., & Huang, R. (2017). *The Potentials and Trends of Virtual Reality in Education* (Primera). Singapur: Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7_7)
- Lo, C. K. (2018). Grounding the flipped classroom approach in the foundations of educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 66(3), 793–811. <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9578-x>
- Madonado, C. E. (2014). ¿Qué es eso de pedagogía y educación en complejidad?

- Intersticios Sociales*, (7), 1–23.
- Maldonado, C. E. (1999). Esbozo de una filosofía de la lógica de la complejidad. In *Visiones sobre la complejidad* (2º). Bogotá: Colección “Filosofía y Ciencia” Editor, y coautor.
- Maldonado, C. E. (2005). Ciencias de la complejidad: ciencias de cambios súbitos. *Odeón*, 2(1), 85–125. Retrieved from <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/odeon/article/view/2643>
- Maldonado, C. E. (2007). Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicaciones. *Universidad Externado de Colombia*, 101–132.
- Maldonado, C. E. (2015). Pensar la complejidad, pensar como síntesis. *Cinta Moebio*, 54, 313–324. Retrieved from [www.moebio.uchile.cl/54/maldonado.html313](http://www.moebio.uchile.cl/54/maldonado.html313)
- Maldonado, C. E., & Gómez Cruz, N. A. (2010). *El mundo de las ciencias de la complejidad: un estado del arte. Documentos de administración* (Primera). Bogotá: Editorial Universidad del Rosario.
- Martínez Pérez, L. F., & Parga Lozano, D. (2018). *Aportes investigativos para la Enseñanza de las Ciencias y el Conocimiento Didáctico del Profesor* (Primera). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, CIUP.
- Mashkov, Y. K. (2017). Nanostructural Self-Organization and Dynamic Adaptation of Metal – Polymer Tribosystems, 62(2), 282–286. <https://doi.org/10.1134/S1063784217020190>
- Masuda, Y. (1984). *La sociedad informatizada :como sociedad post-industrial. Hermes (Tecnos)* (1st ed.). Tecnos.
- Matsugo, S., & Kanamori, K. (2011). Chemical oscillation of vanadium complexes: Simple and aperiodic systems. *Coordination Chemistry Reviews*, 255(19–20), 2388–2397. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2011.01.053>
- Maturana, H., & Varela, F. (1998). The Tree of Knowledge: the Bio- logical Roots of Human Understanding. MA: *Shambhala*, 33–89.
- Mennin, S. (2010). Self-organisation, integration and curriculum in the complex world of medical education. *Medical Education*, 44(1), 20–30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03548.x>
- Mitra, S., & Dangwal, R. (2010). Limits to self-organising systems of learning—the Kalikuppam experiment \_1077 672..688, 41(5), 672–689. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2010.01077.x>
- Mitra, S., & Hattie, J. (2019). *The school in the cloud : the emerging future of learning*. London: Corwin.
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro* (Primera).

- Paris: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Navarro-Cid, J. (2001). *Las organizaciones como sistemas abiertos alejados del equilibrio*. Universidad de Barcelona. <https://doi.org/10.13140/2.1.3858.5927>
- Norman, G. (2011). Chaos, complexity and complicatedness: lessons from rocket science. *Medical Education*, 45(6), 549–559. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2011.03945.x>
- Nowak, M. A. (2012). *Supercooperadores*. (R. Highfield, Ed.). Madrid: S.A. EDICIONES B.
- OREALC/UNESCO. (2013). *Situación Educativa de América Latina y el Caribe: Hacia la educación de calidad para todos al 2015*. Santiago. Retrieved from [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Santiago/images/SITIE\\_D-espanol.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Santiago/images/SITIE_D-espanol.pdf)
- Pagels, H. (1991). *Los sueños de la razón: el ordenador y los nuevos horizontes de las ciencias de la complejidad*. Barcelona: Gedisa.
- Pighi Bel, P. (2016, June 10). Cómo es 42, la universidad francesa de tecnología que no tiene profesores. Retrieved May 19, 2020, from <https://www.bbc.com/mundo/noticias-36474360>
- Pirela Morillo, J. (2007). Las tendencias educativas del siglo XXI y el currículo de las escuelas de Bibliotecología. *Investigación Bibliotecológica*, 21(43), 73–105. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22201/iibi.0187358xp.2007.43.4127>
- Prigogine, I. (1993). *El Nacimiento del Tiempo*. Barcelona: Tusquets Editores, S.A.
- Prigogine, I. (2004). ¿Qué es lo que no sabemos? *Educere*, 36(47), 301–308. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Prigogine, I., & Stengers, I. (1990). *La nouvelle alliance - Métamorphose de la science* (Segunda). Madrid: Alianza Editorial, S.A.
- Rivas, A. (2014). *Revivir las aulas: Un libro para cambiar la educación*. Buenos Aires: Debate.
- Rivas, A. (2017). *Cambio e innovación educativa: las cuestiones cruciales* (1st ed.). Buenos Aires: XII Foro Latinoamericano de Educación.
- Robinson, K. (2015). *Escuelas creativas: La revolución que está transformando la educación* (1st ed.). Buenos Aires: GRIJALBO.
- Salas, E., & Fiore, S. M. (2004). *Team cognition: Understanding the factors that drive process and performance*. Washington: American Psychological Association. Retrieved from <https://www.apa.org/pubs/books/4316028?tab=1>
- Salcedo Torres, L. E., Villarreal Hernández, M. E., Zapata Castañeda, P. N., Colmenares

- Gulumá, E., Garcia Barco, M. C., & Moreno Romero, S. P. (2007). *Tecnologías de la Información y la Comunicación en educación química* (Primera). Bogotá: Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Schrödinger, E. (1944). *¿Qué es la Vida?* (R. Guerrero, Ed.) (Primera). Barcelona: Tusquets Editores, S.A.
- Schwab, K. (2016). *La Cuarta revolución industrial*. Madrid: Debate.
- Siemens, G. (2004). Connectivism: A learning theory for the digital age. *Trad. Leal Fonseca, Diego*, 1–10. Retrieved from <http://clasicas.filos.unam.mx/files/2014/03/Conectivismo.pdf>
- Slayback, Z. (2016). *The End of School: Reclaiming Education from the Classroom*. Remnant Publishing .
- TEDsters. (2007, March). Murray Gell-Mann: Beauty, truth and ... physics? | TED Talk. Retrieved from [https://www.ted.com/talks/murray\\_gell\\_mann\\_beauty\\_truth\\_and\\_physics?language=mr](https://www.ted.com/talks/murray_gell_mann_beauty_truth_and_physics?language=mr)
- Tomasello, M. (2014). *A natural history of human thinking*. Cambridge: Harvard University Press.
- UNESCO. (2016). *Aportes para la enseñanza de las ciencias naturales*. Santiago de Chile. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244733>
- Von Bertalanffy, L. (1969). *General System Theory. Foundations, development, applications*. New York: George Braziller.
- Von Foerster, H. (2003). Cybernetics of Cybernetics. In *Understanding Understanding* (pp. 283–286). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/0-387-21722-3\\_13](https://doi.org/10.1007/0-387-21722-3_13)
- Weaver, W. (1948). Science and Complexity. *American Scientist*, 36(536), 1–11. Retrieved from <http://www.ceptualinstitute.com/genre/weaver/weaver-1947b.htm>
- Winsberg, E. (2001). Simulations, Models and Theories: Complex Physical Systems and their Representations. *Philosophy of Science*, 68(3), 442–454.
- Yaneer, B.-Y. (1997). *Dynamics of Complex Systems*. Boulder: West- view Press.
- Zambrano Farías, F. J. (2017). Sociedad del Conocimiento y las TEPs. *INNOVA Research Journal*, 2(10), 169–177.
- Zwirn, H. (2003, December 1). La complexité, science du XXI siècle ? . Retrieved May 14, 2020, from <https://www.pourlascience.fr/sd/sciences-sociales/la-complexite-science-du-span-styletext-transform-uppercasexxispansupesup-siecle-5326.php>

#### 4. Contenidos

Los cambios sociales, políticos y económicos que se han presentado en el siglo XXI, dinamizados por el avance en las TIC, el constante aumento en las interacciones sociales y vínculos comerciales entre naciones, nos muestran un mundo de complejidad creciente. Estos cambios socioeconómicos que se producen en la sociedad del conocimiento generan nuevas exigencias y necesidades sociales que la educación debe afrontar.

Por ende, una formación basada en la adquisición de conocimientos desde la interacción social permite la indagación, selección y aplicación de la información en red, por ende, la autonomía, toma de decisiones, trabajo en equipo, pensamiento divergente y creatividad son habilidades prácticas en tiempos complejos.

Así, las ciencias de la complejidad parten como el escenario de estudio y discusión de los procesos y escenarios educativos necesarios con miras a afrontar los retos que propone el siglo XXI; sin embargo, reconocer los ambientes de aprendizaje como sistemas complejos adaptativos bajo estructuras emergentes autoorganizadas, necesita una aproximación teórica que de pie a una clara comprensión de conceptos, modos y enfoques que desde las ciencias de la complejidad pueden ser aplicados en los escenarios educativos, en particular la educación en ciencias.

En consecuencia, la monografía se divide en cuatro capítulos orientados a responder las necesidades y el papel de la educación en ciencias para el presente siglo, y como las ciencias de la complejidad representan un enfoque alternativo de entender la educación como sistema complejo adaptativo.

Así, en el primer capítulo se justifica y plantean los límites de la monografía, además de la metodología aplicada en cada capítulo.

*“Introducción a las ciencias de la complejidad”*, es el segundo capítulo, orientado a precisar conceptos propios de los sistemas complejos, y fenómenos de autoorganización.

En el tercer capítulo, *“Retos de la educación en el siglo XXI”* se pone en contexto la sociedad del conocimiento, identificando los principales retos y habilidades necesarias para afrontar los desafíos que depara el siglo XXI para la educación, en particular la educación en ciencias.

Finalmente, en el cuarto capítulo “*La educación como objeto de interés para las ciencias de la complejidad*” se analiza el carácter complejo de la acción de enseñar y aprender, reconociendo el aula como un sistema complejo adaptativo y las principales características de la complejización de la educación.

## 5. Metodología

La presente monografía de investigación gira entorno a las siguientes preguntas de investigación: *¿Qué desafíos debe afrontar la educación en el siglo XXI? ¿Cuáles el papel de la educación en ciencias para el presente siglo? ¿Cómo desde las ciencias de la complejidad podemos afrontar los desafíos de la educación en ciencias en tiempos de complejidad? ¿Cuáles son las características de una educación compleja?*

Esta preguntas se orientan en una aproximación teórica que dé pie a una clara comprensión de conceptos, modos y enfoques que desde las ciencias de la complejidad pueden ser aplicados en los escenarios educativos, en particular la educación en ciencias. Para ello, se consultaron las principales fuentes de información, como bases de datos, revistas indexadas y libros académicos, identificando los principales autores, investigaciones e institutos que dan paso a la reflexión sobre dichas preguntas.

## 6. Conclusiones

Los cambios socioeconómicos que se producen en *la sociedad del conocimiento* generan nuevas exigencias y necesidades sociales que la educación debe afrontar, es necesario promover una formación basada en la adquisición de conocimientos desde la interacción social y permitir el desarrollo de habilidades como la autonomía, la capacidad de toma de decisiones, el trabajo en grupo, el pensamiento divergente y la creatividad.

Así, la capacidad de adaptarse a distintas situaciones, el análisis de datos, uso de nuevas técnicas e instrumentos para hacer observaciones e interpretación de distintos tipos de lenguaje y formas de comunicar ideas, son procesos que las personas hacen en la sociedad del conocimiento, característica del siglo XXI.

Este hecho resalta la importancia de reconocer la complejidad inherente del sistema educativo, así pues, considerar el aula de clase como un sistema complejo adaptativo, que permite estudiar su carácter aleatorio y mecanismos de transiciones de fase que determinan las propiedades del sistema.

En consecuencia, la complejización de la educación significa un aprendizaje basado en la transformación de patrones, comportamientos y estructuras mentales desde la emergencia producida por procesos no lineales dinamizados por el profesor, responsable de problematizar el aula. Así, el futuro de la educación pasa por procesos autoorganizativos y apuesta por el trabajo colaborativo, donde la constante interacción social sin niveles de jerarquía es fuente de conocimiento.

Estas conclusiones derivadas de la investigación desarrollada destacan un camino por recorrer, donde la redefinición del profesor como “*científicos del aprendizaje*” para afrontar los retos de la educación en el presente siglo es clave en la complejización de la educación, pues la capacidad de integrar información, datos, estilos de aprendizaje, personalidades, procesos creativos e innovadores en el aula, es un enorme desafío en condiciones socioeconómicas vulnerables; y el primer paso en este camino es reconocer a la educación y en particular a los profesores como la profesión del siglo XXI.

Otra arista en este camino por recorrer en la investigación en ciencias de la complejidad y el aula, serán las políticas educativa que reconozcan la complejidad creciente de los ambientes y escenarios educativos; donde la descentralización de los contenidos - conocimiento como construcción colectiva debe responder a problemas y no a campos teóricos, problemas de complejidad creciente con resultados no lineales, en ocasiones sin respuesta, será el punto de partida para pensar un currículo no lineal.

<b>Elaborado por:</b>	Ortegon Moreno, Jhonny Alexander
<b>Revisado por:</b>	Castro Pineda, Luis Alberto

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	10	06	2020
--	----	----	------



## CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN .....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1 Justificación.....	5
1.2 Definición del problema.....	6
2. INTRODUCCIÓN A LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD .....	7
2.1 Contexto histórico.....	7
2.2 Ciencias de la complejidad.....	10
2.3 Avances en Investigación.....	19
3. RETOS DE LA EDUCACIÓN EN EL SIGLO XXI.....	21
3.1 Educación en el siglo XXI.....	22
3.2 Educación en ciencias.....	24
3.3 Avances en investigación.....	26
4. LA EDUCACIÓN COMO OBJETO DE INTERÉS PARA LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD .....	29
4.1 El aula como sistema complejo adaptativo.....	30
4.2 Personalidad de los agentes educativos .....	35
4.3 Mecanismos de autoorganización .....	37
4.4 Avances en investigación.....	39
5. CONCLUSIONES .....	41
UN CAMINO POR RECORRER .....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXOS.....	54

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. El espacio de las ciencias de la complejidad en contraste con la ciencia normal.....	12
Ilustración 2. Niveles de baja y alta complejidad.....	21
Ilustración 3. Red de amistades entre estudiantes de secundaria.....	32
Ilustración 4. Red aleatoria con el número de enlaces entre posibles amistades..	33

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A.....	54
ANEXO B.....	60
ANEXO C.....	62

## RESUMEN

Estamos viviendo la cuarta revolución industrial basada en tecnologías convergentes, pasamos de la agricultura, a la máquina de vapor, de la máquina de vapor, a la era digital con la información en red, hoy esa información derivado en la sociedad del conocimiento, que al igual que las anteriores revoluciones está redefiniendo nuestras relaciones, interés, y necesidades sociales.

Ante este panorama, es necesario redefinir la educación para afrontar los desafíos de orden social, político y económica de una sociedad del conocimiento, así, se proponen las ciencias de la complejidad como un enfoque alternativo en la educación, en particular, la educación en ciencias, que reconoce el carácter complejo inherente a los sistemas vivos como el aula.

En este sentido, la complejización de la educación significa un aprendizaje que pasa por una transformación de patrones, comportamientos y estructuras mentales desde la emergencia producida por procesos no lineales, dinamizados por el profesor, responsable de problematizar el aula; así, la creatividad, innovación, interacción social, trabajo en equipo y el pensamiento divergente son habilidades claves en la educación actual con un alto grado de exploración e investigación autoorganizada.

En consecuencia, la monografía parte de un contexto teórico sobre los sistemas complejos, mecanismos de autoorganización y otros conceptos de las ciencias de la complejidad; después se determinan los retos de la educación en el siglo XXI, terminando con las bases teóricas y epistemológicas de la educación en ciencias como objeto de interés para las ciencias de la complejidad.

**PALABRAS CLAVE:** Ciencias de la complejidad; complejización de la educación, sistemas complejos adaptativos, educación en ciencias, educación en el siglo XXI.

## INTRODUCCIÓN

"I think the next (21<sup>st</sup>) century will be the century of complexity" Stephen Hawking, es la primera frase que se lee en el libro "*Complexity explained*" de Péter Érdi (2008), y dado los rápidos cambios sociales, políticos y económicos que se han presentado en el siglo XXI, dinamizados por el avance en las TIC, el constante aumento en las interacciones sociales y vínculos comerciales entre naciones; en efecto, vivimos en un mundo de complejidad creciente.

Esta mayor complejidad del mundo actual presenta nuevos desafíos, exigen y demandas a nuestro sistema educativo; en general, ha habido una creciente conciencia de la necesidad de cambiar y mejorar la preparación de los estudiantes frente a los entorno continuamente cambiante y emergente de autoorganización constante de la sociedad del conocimiento.

No obstante, los avances en investigación en esta materia no responden a las necesidades concretas de tiempos de complejidad creciente (M. Bar-Yam, Rhoades, Booth Sweeney, & Kaput, 2002), donde el conocimiento y no los recursos naturales, son el mayor activo de un país, por ende, la educación es el sector productivo de mayor demanda para el estado en la cuarta revolución industrial, mediada por las tecnologías convergentes.

Estos cambios socioeconómicos que se producen en la sociedad del conocimiento, generan nuevas exigencias y necesidades sociales que la educación debe afrontar, es necesario promover una formación basada en la adquisición de conocimientos desde la interacción social y permitir el desarrollo de habilidades como la indagación, selección y aplicación de la información en red, por ende, la autonomía, la capacidad para tomar decisiones, el trabajo en grupo, el pensamiento divergente y la creatividad son habilidades prácticas en tiempos complejos.

Este enfoque, pone de manifiesto la complejidad de los escenarios educativos, que por mucho tiempo no se ha tenido en cuenta; sin embargo, dado el reciente avance en las ciencias de la complejidad es posible comprender y gestionar una amplia variedad de sistemas en muchos dominios, en consecuencia, la educación como sistema complejo adaptivo cobra validez, donde el conocimiento tiene en la actualidad el reto de enfrentar problemas complejos o de complejidad creciente, a diferencia del siglo XIX y XX, en donde el conocimiento servía a propósitos económicos.

No obstante, el reconocer los ambientes de aprendizaje y particularmente el aula como sistema complejo adaptativo, involucra reconocer su carácter impredecible, caótico, no lineal, y dinámico; organizado bajo estructuras emergentes autoorganizadas a partir de agentes perturbadores; es así, como las ciencias de la complejidad parten como el escenario de estudio y discusión de los procesos y escenarios educativos necesarios con miras a afrontar los retos que propone el siglo XXI.

Sin embargo, un enfoque de este tipo necesita una sólida fundamentación teórica que permita una clara comprensión y definición de los conceptos aplicados en la complejización de la educación, propósito de la presente monografía.

En consecuencia, la monografía se divide en cuatro capítulos orientados a responder las necesidades y el papel de la educación en ciencias para el presente siglo, y como las ciencias de la complejidad representan un enfoque alternativo de entender la educación como sistema vivo. Así, en el primer capítulo se justifica y plantean los límites de la monografía, además de la metodología aplicada en cada capítulo.

“Introducción a las ciencias de la complejidad”, es el segundo capítulo, orientado a discutir el contexto histórico que dio origen a dicho campo de investigación, además de precisar conceptos propios de los sistemas complejos, y fenómenos de autoorganización que a la fecha se aplican a estos sistemas.

En el tercer capítulo, “Retos de la educación en el siglo XXI” se pone en contexto la sociedad del conocimiento a partir de la cuarta revolución industrial que atravesamos, identificando los principales retos y habilidades necesarias para afrontar los desafíos propios de las sociedades complejas, poniendo especial énfasis en el papel de la educación en ciencias derivado de procesos creativos e innovadores.

Finalmente, en el cuarto y último capítulo “La educación como objeto de interés para las ciencias de la complejidad” se analiza el carácter complejo de la acción de enseñar y aprender, reconociendo el aula como un sistema vivo, con intercambio y emergencia constante, así, se explican las características principales de una complejización de la educación, necesaria en tiempos de complejidad creciente. Es de destacar que en cada capítulo cuenta con una revisión de los avances investigativos más destacados sin ser objetivo central de la monografía.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Justificación

Estamos viviendo la cuarta revolución industria basa en tecnologías convergentes, así, pasamos de la agricultura, a la máquina de vapor, de la máquina de vapor, a la era digital con la información en red, hoy esa información a derivado en la sociedad del conocimiento; esta cuarta revolución al igual que las anteriores está redefiniendo nuestras relaciones, interés, y necesidades sociales.

Así pues, en lo que llevamos del siglo XXI, la sociedad se ha vuelto más compleja, la globalización, el avance en las Tecnologías de la Información y la comunicación – TIC, la conectividad y acceso a la información, son palabras que oímos con frecuencia y que reflejan la complejidad creciente del mundo, asimismo, las nuevas tecnologías, el transporte y la comunicación cada vez más eficiente ha llevado a una interacción mayor entre personas, organizaciones, y elementos (Heylighen, Cilliers, & Gershenson, 2006).

Como resultado, los sistemas económicos, sociales y culturales cada vez conectan más elementos, presentan más interacciones y operan a mayor velocidad; la complejidad es quizás la característica fundamental en la sociedad actual. Ante este panorama, la educación se debe redefinir, involucrando procesos no lineales y adaptativos, en sus contenidos, métodos, didáctica y pedagogías. De esta forma, hacer frente a las necesidad sociales de la cuarta revolución; en consecuencia, un aprendizaje autoorganizado, donde el conocimiento es una construcción colectiva, es el objetivo de complejizar la educación.

En este sentido, si consideramos el aula como un sistema complejo, tanto los enfoques adaptativos de mejora (análisis del contexto, tipo de población, contenidos, estructura organizativa, procesos evaluativos) y los métodos que se utilizan para estudiarlos, deben ser igualmente complejos, esto implica un trabajo en contexto que defina las interacciones entre sus componentes, campo de investigación en las ciencias de la complejidad.

## 1.2 Definición del problema

La educación tal como se concibe en la actualidad, está ligada a una era particular de la historia de la humanidad, la revolución industrial; no obstante, el presente dista mucho de esas necesidades sociales, ahora el conocimiento y no la mano de obra, la técnica y recursos naturales, son el mayor activo para un país.

Estas dinámicas sociales propias de los tiempos contemporáneos de hiperconectividad, nos llevan a reflexionar sobre los ambientes educativos, que no han mostrado cambio alguno ante estas características sociales, se siguen ideando currículos estandarizados, contenidos poco flexibles y descontextualizados, que desconocen las nuevas formas de interacción social.

Estos aspectos, nos llevan a la presente monografía de investigación, que tiene por objetivo entender los restos de la educación para el siglo XXI, y en particular cual será el papel de la educación en ciencias ante este panorama de complejidad creciente, así, describir el aula como un sistema complejo adaptativo de interés para las ciencias de la complejidad.

En consecuencia, la monografía gira entorno a las siguientes preguntas de investigación:

¿Qué desafíos debe afrontar la educación en el siglo XXI?

¿Cuáles el papel de la educación en ciencias para el presente siglo?

¿Cómo desde las ciencias de la complejidad podemos afrontar los desafíos de la educación en ciencias en tiempos de complejidad?

¿Cuáles son las características de una educación compleja?



## 2. INTRODUCCIÓN A LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

*¿Qué tienen en común la biósfera, las ciudades, las células, los ecosistemas, Internet, la economía, el lenguaje, el cerebro y las sociedades? Carlos Gershenson, 2013.*

En su definición más simple la complejidad es la interacción entre elementos que forman una red, estas relaciones presentan características independientes de cada elemento, es decir, la complejidad surge a partir de las interacciones interdependientes que describen el sistema, y significa que tenemos estructura con variaciones (Goldenfeld & Kadanoff, 1999).

Estas interdependencias y propiedades del sistema no se permiten estudiar desde sus elementos independientes siguiendo una visión reduccionista, en efecto, en palabras de Anderson (1972) “el todo es más que la suma de las partes”; de este modo, si tenemos un gran número de unidades, ya sean personas o partículas que tienen un comportamiento colectivo, la complejidad emerge de que son muchos elementos interaccionando, donde las propiedades emergentes son manifiestas.

Es así como las ciencias de la complejidad buscan estudiar dicho comportamiento complejo, desde el estudio de sistemas dinámicos, no lineales, autoorganizados y adaptativos, en definitiva, sistemas complejos.

En consecuencia, el presente capítulo está orientado a presentar algunos apuntes conceptuales, históricos y aplicativos de las ciencias de la complejidad.

### 2.1 Contexto histórico

Las ciencias clásicas también llamadas exactas como la química, la física, la biología, la matemática, la geología y demás, se encargan de la descripción de fenómenos naturales, enfatizando en factores de orden, equilibrio, y estabilidad; bajo un carácter positivista y reduccionista, que tratan de aislar y simplificar los componentes de un sistema cerrado, por ende predecible.

Así, la mecánica newtoniana fundamenta su poder en el método analítico, en la búsqueda de unidades fundamentales y el estudio de comportamientos aislados

(Maldonado, 2005), para luego por ensamblaje de partes explicar el comportamiento del conjunto.

Este modelo de ciencia tiene sus orígenes en la filosofía antigua, las investigaciones de Galileo y Copérnico, hasta llegar a los padres fundadores de la ciencia occidental como Leibniz y Descartes (Prigogine, 2004), donde el objetivo a conseguir era la certeza y reproducibilidad del conocimiento que en el círculo de Viena se conoció como el principio verificacionista del significado (PVS) (Érdi, 2008; Heylighen et al., 2006; Maldonado, 1999).

Heylighen Cilliers, y Gershenson (2006) afirman que “for centuries, the world view underlying science has been Newtonian. The corresponding philosophy has been variously called reductionism, mechanicism or modernism. Ontologically, it reduces all phenomena to movements of independent, material particles governed by deterministic laws” (p. 18).

Así, el paradigma reduccionista se ha intentado "exportar" desde la Física a otras disciplinas con resultados variados; recientemente, un nuevo enfoque, complementario al del reduccionismo, ha comenzado a cobrar vigor entre la comunidad científica, este hecho se resalta en *More is Different* un artículo escrito por Philip W. Anderson (1972) en *Science*.

En el artículo Anderson indica que existe una gran fracción de investigadores centrados en un tipo enteramente distinto de investigación, orientada al estudio de fenómenos que son demasiado complejos como para ser analizados directamente bajo la simple aplicación de las leyes fundamentales, termina diciendo “these are working on another frontier situated between the mysterious and the already understood: the frontier of complexity” (p. 394), en esta frontera la consigna no es el reduccionismo sino la emergencia.

El principio de emergencia es un aspecto fundamental en la ciencia moderna como lo fue el reduccionismo (Gershenson & Heylighen, 2005), este principio representa una frontera abierta para los físicos, una frontera que no tiene barreras prácticas en términos de gastos de investigación, ni credibilidad, o si acaso las tiene, serían aquellas de tipo intelectual (Érdi, 2008).

No obstante, la teoría general de sistemas (Von Bertalanffy, 1969) dio un fundamento científico a las ideas de holismo y emergencia; mientras que el principio de incertidumbre de Heisenberg en la mecánica cuántica, seguido por la noción de

caos en la dinámica no lineal, mostró que el mundo es intrínsecamente impredecible (Érdi, 2008). Además, la cibernética, en paralelo con la ciencia social postmoderna, mostró que el conocimiento es intrínsecamente subjetivo (Heylighen et al., 2006), junto con las teorías de la autoorganización y la biología evolución, nos hicieron conscientes de que la regularidad u organización no se da de forma natural, emerge dinámicamente de una maraña de fuerzas conflictivas y fluctuaciones aleatorias, un proceso acertadamente resumido por Prigogine y Stengers (1990) como "orden fuera del caos" que dan origen a estructuras disipativas.

Por ende, el pensar en torno al cambio y la evolución de sistemas complejos llevó en su desarrollo natural a que los investigadores se cuestionaran sobre las condiciones de producción de conocimiento, la aparición de novedades, la creatividad, adaptabilidad autoorganizada y los procesos caóticos; una respuesta a este dilema fueron los "sistemas de observación" o cibernética de segundo orden (Von Foerster, 2003) el conocimiento del conocimiento.

La cibernética de segundo orden da cuenta de este proceso de reflexión del conocimiento del conocimiento, así, para conocer el cerebro utilizamos el cerebro, para conocer el lenguaje utilizamos el lenguaje (Érdi, 2008), donde no hay linealidad posible, solo bucles de retroalimentación recursivos, norma del sistema.

Otro hecho significativo en el contexto histórico de las ciencias de la complejidad es la conexión directa con la física del átomo, a partir de las investigaciones de Murray Gell-Mann en la teoría "cromodinámica cuántica" por la que obtuvo el premio Nobel en 1969 (interacción de los quarks) y sistemas complejos; investigaciones que le llevaron hacer miembro fundador del Instituto de Santa Fe, con su libro "El Quark y el Jaguar: Aventuras en lo simple y el Complejo".

Así, el origen de las ciencias de la complejidad como campo de investigación se puede situar institucionalmente en el Instituto Santa Fe SFI en 1984, creado por iniciativa de varios científicos de diferentes disciplinas, como George Cowan, Murray Gell-Mann, premio Nobel de física, Philip Anderson, premio Nobel de física por su trabajo en materia condensada, y Kenneth Arrow, premio Nobel de economía, considerado como uno de los padres de la economía moderna (Zwirn, 2003).

El instituto, dio paso al trabajo sistemático en comportamientos complejos, a partir de los estudios realizados por Turing en la máquina universal (indecidibilidad), Lorenz y Ruelle con el efecto mariposa, base de la teoría del caos; Prigogine en la termodinámica del no equilibrio, y estructuras disipativas; Mandelbrot en geometría

de la naturaleza o fractales; Poincaré en la ciencias de redes, entre otros, que dieron las bases teóricas para el estudios de Pagels y Pines en física, Arrow y Anderson en economía, Kauffman en biología de sistemas (Maldonado, 2007), y demás investigadores que trabajan problemas de las ciencias duras desde sistemas complejos.

## 2.2 Ciencias de la complejidad<sup>1</sup>

*Un mundo complejo es interesante porque está altamente estructurado. Un mundo caótico es interesante porque no sabemos lo que viene a continuación. Goldenfeld y Kadanoff, 1999.*

Las ciencias de la complejidad (en adelante CC) o ciencia de sistemas complejos estudian las interacciones locales entre una gran colección de elementos, con la capacidad de autoorganizarse espontáneamente, “exhibit non-trivial global structures and behaviors at larger scales, often without external intervention, central authorities or leaders” (De Domenico et al., 2019, p. 3).

Tal colección de elementos describe un sistema complejo con propiedades y características bien definidas, que requieren nuevos marcos matemáticos y metodologías científicas para su investigación (Érdi, 2008); estos sistemas complejos los podemos encontrar en diferentes campos científicos con apariencia muy diferente, pero que pueden estudiarse con métodos similares (Goldenfeld & Kadanoff, 1999).

Estos métodos buscan dar respuestas a dos preguntas iniciales ¿Por qué las cosas son o se vuelven complejas? y ¿qué es, al fin y al cabo, “complejidad”? (Maldonado & Gómez Cruz, 2010, p. 12), a partir de un gran número de teorías, modelos explicativos, y lógicas, las CC aportan una pluralidad de respuestas que se ocupan de las transiciones entre orden y desorden.

---

<sup>1</sup> Textos introductorios sobre complejidad: Baofu, P. (2007). *The Future of Complexity: Conceiving a Better Way to Understand Order and Chaos*. Singapore: World Scientific.; Bertuglia C.S. & Vaio F. (2005). *Nonlinearity, Chaos, and Complexity: The Dynamics of Natural and Social Systems*. Oxford: Oxford University Press.; Johnson, N. (2007). *Two's Company, three is Complexity: A simple guide to the Science of all Sciences*. Oxford: Oneworld.; Bak, P. (1996). *How Nature Works. The Science of Self-Organized Criticality*. New York: Springer Verlag; Shan, Y., & Shan, A. (2008). *Applications of Complex Adaptive Systems*. Hershey: IGI Publishing.

En este sentido, Nigel Goldenfeld y Leo Kadanoff (1999) afirman que “nature can produce complex structures even in simple situations, and can obey simple laws even in complex situations” (p. 87) lo cual supone un fuerte contraste con la simplicidad de las leyes naturales descritas principalmente por Newton, Maxwell y Schrödinger cuyas ecuaciones se pueden escribir en una línea y ser recordadas de memoria.

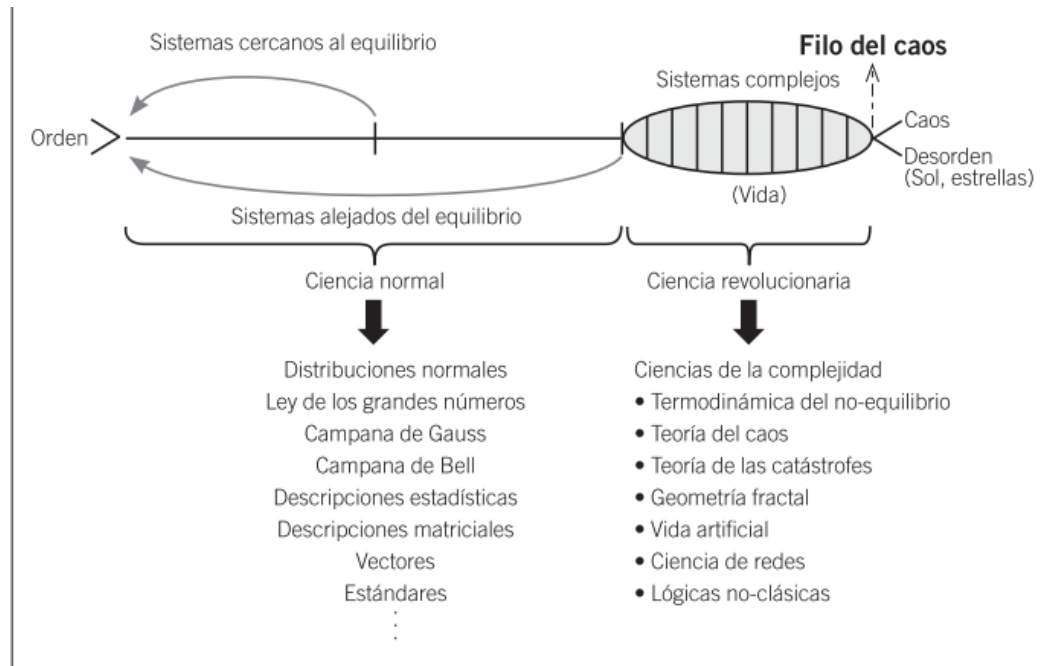
En consecuencia, dar una definición exacta de la ciencia de la complejidad no es fácil, como dice Maldonado & Gómez Cruz (2010, p. 12) “Al respecto, vale siempre recordar que la buena ciencia como la buena filosofía, no parte de definiciones, ni trabaja con ellas [...] La buena ciencia trabaja con problemas y aquí el problema es “complejidad””; comprender como los fenómenos, sistemas y comportamientos evolucionan en el tiempo (dinamismo), amplían sus grado de libertad, ganan información, y se vuelven sensibles a las condiciones iniciales (no confundirse con condiciones originales), interactúan entre si formando redes, y los mecanismos de autoorganizan que generando estructuras emergentes o disipativas (Prigogine, 1993), es la base del estudio de los sistemas complejos.

Así, el estudio de los sistemas complejos se describe en dos formas principales de trabajo por parte de los complejólogos, una que busca las leyes simples inherentes a la complejidad y la otra interesada en la identificación de patrones comunes entre redes complejas y grados de complejidad (Maldonado, 2005); que conviven entre la correspondencia, el experimento simulado (modelos) y el mundo real (Winsberg, 2001).

Esta perspectiva complementaria al reduccionismo implica un quiebre en la discontinuidad de la ciencia occidental, que deriva en términos de Tomas Kuhn en un nuevo paradigma científico. No obstante, es preciso mencionar que la comunidad de complejólogos “*complexologists*” no se interesa por todos los aspectos ni dimensiones de la realidad descrita por los fenómenos naturales, solo se interesa por los que presentan un grado de complejidad creciente (Maldonado, 2014).

Esta circunstancia ineludible del trabajo en complejidad nació como complemento a la ciencia clásica y durante un largo tiempo se alimentaron de estas, sencillamente porque los sistemas físicos son más simples que los sistemas sociales y humanos (Pagels, 1991).

Ilustración 1. El espacio de las ciencias de la complejidad en contraste con la ciencia normal.



Fuente: (Maldonado & Gómez Cruz, 2010, p. 9).

A continuación se describen algunas características de las principales CC:

- Termodinámica del no equilibrio<sup>2</sup>; la termodinámica comprende dos momentos, el clásico que estudia la noción de equilibrio, y por tanto los sistemas estáticos, es decir, la muerte; y la nueva cuyo enfoque es el no equilibrio, es decir, los sistemas dinámicos, y en consecuencia, la vida, desarrollada por Ilya Prigogine, y considerada la primera de las ciencias de la complejidad.

Esta ciencia, estudia el principio de irreversibilidad<sup>3</sup> que describe como los sistemas dinámicos son impredecibles por procesos de complejidad creciente, estructuras disipativas o emergentes generadas por procesos de autoorganización del sistema, fenómenos altamente sensibles a agentes o eventos perturbadores que generan

<sup>2</sup> Para una lectura más profunda al respecto, se recomienda: Kondepudi, D., & Prigogine, I. (1998). Modern Thermodynamics. From Heat Engines to Dissipative Structures.; John Wiley & Sons; Nicholis, G., & Prigogine, I. (1994). La estructura de lo complejo. En el camino hacia una nueva comprensión de las ciencias. Madrid: Alianza.

<sup>3</sup> Propuesto por primera Ilya Prigogine en 1945 en su tesis doctoral "Étude Thermodynamique des Phénomènes Irreversibles".

dinámicas no lineales (Maldonado, 2005); a raíz de estas ideas I. Prigogine publica el libro divulgativo *La nueva alianza* en 1979 en el que expone una nueva relación entre el ser humano y naturaleza, ciencia y filosofía (Prigogine & Stengers, 1990), es de destacar que “Prigogine prefiere el concepto de concepto más puntual y delimitado de “comportamiento complejo” en vez de “sistema complejo”” (Maldonado, 2005, p. 12).

- Ciencia del caos<sup>4</sup>; el caos nace como teoría y luego va dando pasos hacia ciencia, desarrollada por Edward Lorenz en el MIT en 1963 a raíz de una simulación informática sobre meteorología, en el cual detallo la sensibilidad a las condiciones iniciales e improbabilidad de conocer esas condiciones en los sistemas caóticos (Navarro-Cid, 2001) que responden a la presencia de un atractor que da sentido a un sistema impredecible a largo plazo.

Edward Lorenz definió el caos como “when the present determines the future, but the approximate present does not approximately determine the future” (Danforth, 2013); en este sentido, en el estudio del caos se suelen trabajar con tres atractores: atractor fijo y periódico (que sirven de control al sistema), y el atractor extraño descrito por Lorenz como el efecto mariposa, cuya principal característica es decidir la trayectoria que realizara el sistema que se comporta caóticamente, trayectoria irrepetible en el sistema. Y es en la búsqueda y el estudio de estos atractores extraños en los que se centra la ciencia del caos, ya sea desde una postura determinista o indeterminista (subcuántica) (Maldonado, 2005).

Cabe destacar, que el estudio de los sistemas caóticos se trata de explorar la ruta del orden al caos, el identificar patrones de orden en donde parece existir aleatoriedad y reinar el azar; pero existe otra postura que centra su atención en el surgimiento aparentemente espontáneo del orden a partir del caos mediante estructuras de autoorganización que surgen en condiciones alejadas del equilibrio cuando la producción de entropía es elevada (Navarro-Cid, 2001, p. 48), estudiado por Prigogine y recientemente por Chris Langton y Stuart Kauffman interesados en la vida artificial, los fenómenos biológicos y la posibilidad de vida al borde del caos.

---

<sup>4</sup> Lectura recomendada sobre caos: Cramer, F. (1993). *Chaos and Order: The Complex Structure of Living Systems*. New York: VCH Publishers.; Briggs & Peat (1999). *Las siete leyes del caos*. Barcelona: Tusquets.; Reynoso, C. (2006). *Complejidad y caos: una exploración antropológica*. Buenos Aires: SB.

- Teoría de los fractales<sup>5</sup>; La geometría de fractales descrita por Benoît Mandelbrot es heredera directa del estudio de la turbulencia, y describe las figuras irregulares que se presentan en la naturaleza que presentan características de autosimilitud y dimensión no integral; los estudios en este campo han demostrado que todo atractor extraño es un fractal o presenta estructura de fractal de ahí la estrecha relación con la ciencia del caos.

Los fractales han resultado de inmensa ayuda en la medición de numerosos sistemas y comportamientos, en ciencias de la salud y economía, en sistemas sociales y en astronomía (Maldonado & Gómez Cruz, 2010, p. 21).

- Teoría de las catástrofes<sup>6</sup>; Desarrollada por René Thom a partir de los principios de singularidad y estabilidad estructural en áreas como la biología y el lenguaje; donde estudia las *discontinuidades* que pudieran presentarse en la evolución de un sistema, Thom llama a estas *discontinuidades* como catástrofes generadas por bifurcaciones, es decir el fenómeno se produce por el conflicto entre dos o más atractores (Maldonado, 2005).

Algunos autores como G. de Ockahm, indican que esta teoría es demasiado costosa respecto a la teoría del caos; en efecto, mientras que el caos trabaja con tres atractores, la teoría de catástrofes propone siete modelos fundamentales. Por tal razón esta teoría tiende a desaparecer como una teoría matemática y pasa hacer un lenguaje que expresa cambios súbitos e irreversibles “Catástrofe”.

- Logias no clásicas<sup>7</sup>; Se tratan de lógicas de sistemas abiertos, que a diferencia de la lógica formal clásica que es deductiva y da prevalencia a modelos, teorías y explicaciones de corte hipotético-deductivo, que buscan una única verdad; en las lógicas no-clásicas la deducción no figura como fundamento del trabajo ni de los temas, ni de los problemas de su interés (Maldonado, 2005).

---

<sup>5</sup> Se destacan en este campo los estudios de: Mandelbrot, B. (1997). La geometría fractal de la naturaleza. Barcelona: Tusquets; Mandelbrot, B. (1996). Los objetos fractales. Barcelona: Tusquets.

<sup>6</sup> Para hondar en la teoría de fractales se propone: Thom, R. (1997). Estabilidad estructural y morfogénesis. Ensayo de una teoría general de los modelos. Barcelona: Gedisa.; Zeeman, E. C. (1977). Catastrophe Theory. Selected Papers, 1972-1977. Reading, MA: Addison Wesley Publishing Co.

<sup>7</sup> En las lógicas no clásicas, se destacan los trabajos de: Beal, J. C., & Restall, G. (2006). Logical pluralism. Oxford: Oxford University Press.; Gardies, J.-L. (1979). Lógica del tiempo. Madrid.; Paraninfo. Palau, G. (2002). Introducción filosófica a las lógicas no-clásicas. Buenos Aires: Gedisa-UBA.; Peña, L. (1993). Introducción a las lógicas no clásicas. México: UNAM.



En este sentido, es posible definir las lógicas no clásicas como aquellas lógicas que incorporan, trabajan o se fundan en temas, conceptos y problemas que fueron dejados de lado, por cualquier razón, por la lógica formal clásica, en definitiva, se trata de las lógicas que se involucra en los sistemas complejos (Maldonado & Gómez Cruz, 2010).

- Ciencia de redes<sup>8</sup>; Desarrollada originalmente por Duncan Watts, László Barabasi y Steve Strogatz entre los años 2001 y 2003, donde buscaban estudiar la estructura de cualquier sistema que presenta conectividad entre sus partes, de cualquier índole, es decir, relaciones entre sí; donde el dinamismo de las conexiones, que forman redes, juega un papel relevante en la comprensión de fenómenos no lineales y dinámicos propios de los sistemas complejos.

Este nuevo paradigma científico que determina el estudio de la complejidad deriva en un cambio en el pensamiento científico, pasando de disciplinas con objetos, áreas, o campos de trabajo claramente definidos, a problemas; problemas que generan nuevas ciencias o también llamadas ciencias de punta como: ciencias de la tierra, de la vida, biología de sistemas, ciencias cognitivas, ciencias de los materiales, ciencias del espacio, y por su puesto las ciencias de la complejidad.

### 2.2.1 Aproximación a los sistemas complejos<sup>9</sup>

Según la teoría general de sistemas descrita principalmente por Von Bertalanffy (1969) un sistema puede ser definido como un conjunto de elementos que interactúan y se comportan como un todo, con un carácter de organización más o menos definido.

---

<sup>8</sup> El estudio de la ciencia de redes, la más reciente ciencia de la complejidad se puede evidenciar en: Reichardt, J. (2009). *Structure in Complex Networks*. Berlin: Springer Verlag.; Solé, R. (2009). *Redes complejas: del genoma an Internet*. Barcelona: Tusquets.; Wu, C. W. (2007). *Synchronization in Complex Networks of Nonlinear Dynamical Systems*. Singapore: World Scientific.

<sup>9</sup> El desarrollo de los sistema complejos se puede evidenciar en: Goodwin, B. (1999). *Las manchas del leopardo: la evolución de la complejidad*. Barcelona: Tusquets.; Gribbin, J. (2006). *Así de simple. El caos, la complejidad y la aparición de la vida*. Barcelona: Crítica.; Kaneko, K. (2006). *Life: An Introduction to Complex Systems Biology*. Berlin: Springer-Verlag.

A partir de las interacciones internas y con el entorno, los sistemas pueden ser aislados, cerrados, abiertos (Von Bertalanffy, 1969); estáticos o dinámicos (Anderson, 1972); en, cerca, o alejados del equilibrio (Prigogine & Stengers, 1990); propiedades descritas por los límites del sistema.

Así, los sistemas abiertos comunes en la naturaleza son de interés para las CC; dado su carácter dinámico, y su capacidad de llegar al mismo resultado desde diferentes caminos; el hecho de que pequeños cambios pueden producir un gran resultado (Navarro-Cid, 2001), llamó la atención de Ilya Prigogine quien identificó un sistema inestable donde la materia adquiere mayor sensibilidad y está ligado con mayor fuerza con su entorno, en esta situación las fluctuaciones adquieren mayor importancia y surgen de forma espontánea e irreversibles, según procesos de autoorganización bien definidos (Prigogine, 1993); en estos sistemas el concepto de entropía se define en dos componentes: orden y desorden, y los llamo sistema alejado del equilibrio.

Por su parte, Erwin Schrödinger llegó a la conclusión de que los sistemas abiertos se alimentan de entropía negativa, y mientras sea capaz de seguir alimentándose, tiende a estados de menor desorden y mayor improbabilidad (Schrödinger, 1944); esta particularidad de los sistemas abiertos alejados del equilibrio lleva a bucles de retroalimentación positiva que derivan en estados emergentes, o bucles negativos que tienden a estabilizar el sistema, que bajo dinámicas no lineales, procesos adaptativos no deterministas, y mecanismos de autoorganización dan lugar a sistemas de complejidad creciente (Maldonado, 2005, p. 32).

No obstante, es preciso mencionar la diferencia entre sistema caótico, complejo y complicado, un sistema es complicado si contiene muchas variables que interactúan entre sí de forma lineal y predecible, puede ser estudiado adecuadamente desde ecuaciones lineales (Goldenfeld & Kadanoff, 1999); por su parte, un sistema caótico está gobernado por relaciones no lineales, sensible a las condiciones iniciales, pero con variables explícitas que se pueden controlar (Fahim & Abbasi Talabari, 2014); pero si las relaciones además de ser no lineales se caracterizan por múltiples variables indefinidas que exhiben un grado de autoorganización emergente no determinado por los elementos individuales del sistema (Érdi, 2008; Goldenfeld & Kadanoff, 1999; Norman, 2011), estamos ante un sistema complejo.

En consecuencia, los sistemas complejos se estudian en términos de los cambios de estado en el tiempo (dinámica), así, un estado está descrito por el conjunto de variables que mejor caracterizan al sistema, es decir, a medida que el sistema

cambia de estado, sus variables también cambian, esta propiedad responde a las condiciones del entorno (Érdi, 2008); sin los cambios son directamente proporcionales al tiempo (estado inicial y final), los cambios del entorno son lineales, mientras que si no son proporcionales a ellos son procesos no lineales; así, los sistemas complejos suelen ser no lineales y cambiantes a velocidad variable según su estado y emergencia.

No obstante, dichos sistemas también pueden tener estados estables en los que pueden permanecer iguales incluso si están perturbados, o estados inestables en los que los sistemas pueden verse afectados por una pequeña perturbación (Goldenfeld & Kadanoff, 1999; Heylighen et al., 2006). En algunos casos, pequeños cambios ambientales pueden cambiar completamente el comportamiento del sistema, conocidos como bifurcaciones, transiciones de fase o puntos de inflexión.

algunos sistemas complejos también puede depender de su historia, es decir, su estado futuro depende no solo de su estado actual, sino también de su historia pasada. (Érdi, 2008); a menudo se caracterizan por muchos componentes que interactúan de múltiples maneras entre sí y potencialmente también con su entorno.

Estos componentes forman redes de interacciones, a veces con solo unos pocos componentes involucrados en muchas interacciones, las interacciones pueden generar información novedosa que dificulta el estudio de los componentes de forma aislada o la predicción completa de su futuro (De Domenico et al., 2019). Otro hecho importante es que los componentes del sistema también pueden ser sistemas completamente nuevos, que conducen a sistemas de sistemas interdependientes entre sí (Érdi, 2008; Goldenfeld & Kadanoff, 1999).

Por consiguiente, el principal desafío de la ciencia de la complejidad no es solo ver las partes y sus conexiones, sino también comprender cómo estas conexiones dan lugar al conjunto; estos fenómenos de complejidad creciente, se evidencian con mayor precisión en los sistemas vivos, en los procesos que dan origen a la vida, sistemas totalmente integrados que no pueden ser reducidos a sus partes (Capra, 1998), y son precisamente estas propiedades del conjunto las que determinan las propiedades emergentes que describen los comportamientos sociales como la cultura, valores, procesos creativos, procesos de aprendizaje, comportamientos sociales, entre otros, aspectos inherentes a las comunidades (Érdi, 2008).

### 2.2.2 Fenómenos de autoorganización en sistemas complejos

La autoorganización "*Self-organization*" puede definirse como la creación espontánea de una patrón a partir de las interacciones locales, es decir, se refiere al proceso por el cual surgen espontáneamente nuevas estructuras y patrones de comportamiento caracterizados por bucles de retroalimentación que involucran necesariamente dinámicas no lineales propias de los sistemas complejos, y que describen las propiedades futuras del sistema (Capra, 1998; Kauffman, 1995; Maturana & Varela, 1998).

La autoorganización se considera como un proceso abierto en el que el pasado y el presente proporcionan una base para el futuro sin limitarlo ni controlarlo, dependiendo las condiciones iniciales, y los agentes perturbadores a los que el sistema se ve expuesto, así, la dinámica de un sistema autoorganizado es típicamente no lineal (Heylighen, 2002).

A raíz de la falta de un controlador central o externo, el "control" del sistema autoorganizado "*self-organizing system*" se distribuye entre los componentes integrado en sus interacciones (autogestión), esta autoorganización puede producir estructuras físicas funcionales como patrones cristalinos de materiales y morfologías de organismos vivos (Mashkov, 2017), o comportamientos dinámicos como pulsos eléctricos que se propagan en los músculos de los animales (Érdi, 2008).

A medida que el sistema se vuelve más organizado por este proceso, pueden surgir nuevos patrones de interacción con el tiempo, lo que puede conducir a la producción de una mayor complejidad (Érdi, 2008). En algunos casos los sistemas complejos pueden autoorganizarse en un estado "crítico" que solo podría existir en un sutil equilibrio entre aleatoriedad y regularidad (Heylighen et al., 2006).

Esta autoorganización puede manifestarse de varias maneras, pero generalmente revela propiedades globales de emergencia en el sistema que es difícil, si no imposible, anticipar a partir de los datos simples de las interacciones de los componentes, el sistema global presenta propiedades emergentes (Zwirn, 2003).

Estas propiedades emergentes explican la capacidad de una colonia de hormigas para encontrar el camino más corto entre el hormiguero y una fuente de alimento, la forma en que el vuelo de las aves migratorias se coordina frente a la resistencia

del viento, e incluso la formación de moléculas que minimizan la energía de unión de los átomos (auto-catalizadores) (Matsugo & Kanamori, 2011).

Un ejemplo clásico de sistema autoorganizado es el cerebro, que reorganiza constantemente sus conexiones neuronales en respuesta a los cambios en el entorno, lo que le permite, aprender, lo que explica como las especies vivas evolucionan y se modifican para adaptarse y aumentar su capacidad de supervivencia (Zwirn, 2003), así, los humanos crean ciudades que atraen más gente y dinero, con patrones complejos de autoorganización.

“Les sociétés humaines changent et modifient leurs règles de fonctionnement en fonction de l'évolution des techniques ou des idées, par exemple. Cette capacité d'adaptation est une caractéristique essentielle des systèmes complexes liée à leur faculté d'auto-organisation” (Zwirn, 2003, p. 2).

### 2.3 Avances en Investigación

Estas ciencias de punta han permitido nuevos espacios de investigación que antes parecían inconcebibles, como la exploración del espacio extraterrestre, del fondo marino, búsqueda de energías alternativas, el proyecto del genoma y proteoma humano, y recientemente el proyecto BRAIN, entre otros, son ejemplos del alcance de las ciencias de la complejidad.

Como tal, la ciencia de la complejidad es poco más que una amalgama de métodos, modelos y metáforas de una variedad de disciplinas más que una ciencia integrada, sin embargo, las ciencias de la complejidad pueden reclamar un enfoque unificado precisamente en su forma de pensar, que es intrínsecamente diferente de la de la ciencia tradicional (Gershenson & Heylighen, 2005).

En principio, modelar matemáticamente los sistemas con muchos grados de libertad era difícil, pero gracias al desarrollo de computadoras baratas y poderosas, fue posible construir y explorar sistemas modelo de varios grados de complejidad, aunque como lo indica George Box “All models are wrong, but some are useful”, los modelos nos presentan un aproximación al estudio de los sistemas complejos que implican muchas variables y configuraciones que no se pueden explorar simplemente con la intuición o el cálculo con papel y lápiz.

Así, los modelos matemáticos y computacionales avanzados, análisis y simulaciones nos permiten ver cómo estos sistemas están estructurados y cambian con el tiempo (De Domenico et al., 2019); con la ayuda de las computadoras, podemos verificar si un conjunto de reglas hipotéticas podría conducir a un comportamiento observado en la naturaleza, y luego usar nuestro conocimiento de esas reglas para generar predicciones de diferentes escenarios de "qué pasaría si" (Érdi, 2008).

Estos métodos computacionales pueden conducir a descubrimientos que profundizan nuestra comprensión y apreciación de la naturaleza (Zwirn, 2003), por ejemplo, los modelos basados en agentes para el agrupamiento de aves han permitido entender los mecanismos de autoorganización ligados a estados de emergencia, los modelos matemáticos y computacionales del cerebro, modelos informáticos de predicción del clima, modelos informáticos de dinámica de peatones (Érdi, 2008), y similitud desde el análisis de grandes datos aplicados a las redes y comportamiento social.

Particularmente en ciencias sociales se vienen desarrollando estudios que incluyen la investigación en difusión de nuevas tecnologías, prácticas sociales y empresariales, mercados, moda, y consumo; así como normas, cultura y leyes ciudadanas (Aloi, 2005); utilizando la Big Data en red para estudiar fenómenos sociales complejos, desde la ciencia de redes y los recientes desarrollos en el análisis de las series temporales adaptativas suponen un campo de estudio a nivel social, en el anexo A se detalla un cuadro con las investigaciones más destacadas en el campo de las ciencias de la complejidad.

Finalmente, hay que destacar que el interés de las ciencias de la complejidad en los fenómenos sociales ha permitido el desarrollo de una ciencia emergente, *las ciencias sociales del no equilibrio - NESS*, que pretende situar las ciencias sociales en el terreno y paradigma científico del siglo XXI, las NESS tienen su origen a partir del informe de la comisión Gulbenkian<sup>10</sup>.

---

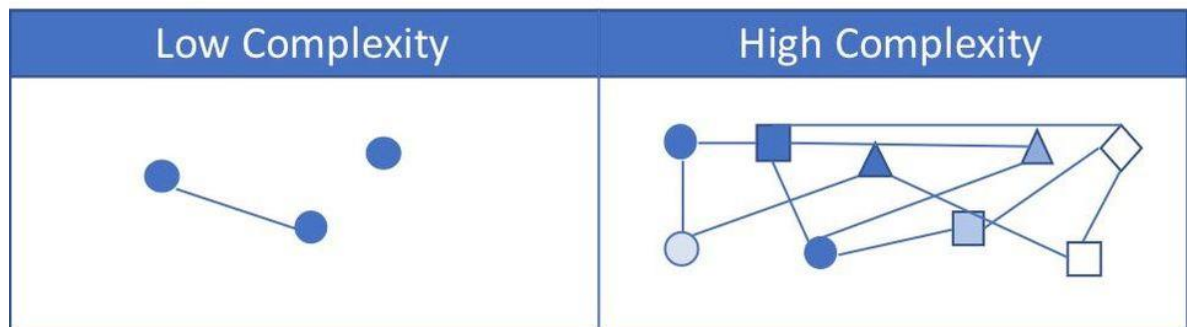
<sup>10</sup> La comisión entregó un informe detallado en 1996 donde describía los fenómenos y necesidades crecientes en temas sociales, para hacer frente a los procesos y cambios vertiginosos que ocurrirán en el siglo XXI; puede recuperarse de: Immanuel Wallerstein (coord.). Abrir las ciencias sociales. Comisión Gulbenkian para la reestructuración de las ciencias sociales. México: Siglo XXI UNAM, 2004.

### 3. RETOS DE LA EDUCACIÓN EN EL SIGLO XXI

Vivimos en tiempos de complejidad creciente, caracterizados por volatilidad, incertidumbre, dinamismo y grandes datos; por ende, la cantidad de factores que se deben tener en cuenta, su variedad y relaciones están determinados por procesos no lineales, alejados del equilibrio, característica de los sistemas vivos.

El carácter de complejidad creciente que presentan el siglo XXI, radica en la cantidad y variedad de factores asociados, que cuanto mayor estén interconectados, más complejo es el entorno (Érdi, 2008); así, bajo niveles de alta complejidad o mejor aún de complejidad creciente, no es posible analizar por completo el entorno y llegar a conclusiones racionales (Anderson, 1972; Heylighen et al., 2006; Zwirn, 2003), por lo tanto, cuanto más complejo es el mundo, más difícil es analizarlo.

*Ilustración 2. Niveles de baja y alta complejidad.*



Fuente de Jeroen Kraaijenbrink (2019).

No obstante, como cita Thomas Friedman, el mundo cada vez se encoge un poco más, a menudo por innovaciones tecnológicas como la imprenta, el correo postal, los viajes interoceánicos, el ferrocarril, las autopistas, el teléfono, la radio, la televisión, entre otras; la Internet, el avance en las Tecnología de la Información y la Comunicación – TIC y tecnologías convergentes, son solo el último capítulo en la larga historia de cambios en las redes sociales de las personas.

Así, la hiperconectividad está cambiando nuestras formas de ver el mundo, y en ellas residen los desafíos a nivel político, tecnológico, científico y social, mediados por la educación del siglo XXI, en consecuencia, en este capítulo se aborda la

sociedad de la información y el conocimiento, los desafíos de orden social y político, y se termina con los restos y el papel de la educación en el presente siglo.

### 3.1 Educación en el siglo XXI

La revolución agrícola originó las primeras ciudades del mundo antiguo, en particular en el Oriente Medio, Mesoamérica, China, y sur de Europa; luego, la revolución Industrial llevó al surgimiento en el siglo XIX de ciudades industriales como Manchester, Newcastle y Nueva York; después, a mediados del siglo XX, el auge de la economía de servicios hizo que la gente saliera de las ciudades industriales y se mudase a los suburbios (Harari, 2014).

Ahora, vivimos una cuarta revolución industrial basada en la era digital y la información abierta de mediados los 80º, la cual representa nuevas formas en que la tecnología se integra en las sociedades e incluso en el cuerpo humano (Beard, 2019; Castells, 2005), se caracteriza por cambios que se producen a una gran velocidad, difíciles de predecir (Benedik, 2019), a raíz de los avances tecnológicos emergentes en varios campos, que incluyen: robótica, inteligencia artificial, nanotecnología, computación cuántica, biotecnología, Internet de las cosas (IoT), impresión 3D y vehículos autónomos (Schwab, 2016).

Cada una de estas revoluciones, ha provocado un profundo cambio en las relaciones sociales, por ende, necesidades y retos que la educación tuvo que afrontar, construyendo modelos y teorías del aprendizaje que dieran respuesta al mercado (Siemens, 2004). Así, los retos educativos actuales y del futuro no se limitan, pero pasan por la automatización del trabajo, la globalización, cambio climático (Beard, 2019), inteligencia artificial, transhumanismo, macrodatos, e inmigración (Harari, 2018).

Así pues, el avance tecnológico e investigación científica, son las principales características de esta revolución, en particular, el avance e innovación en las tecnologías para el acceso e interacción con datos abierto presenta nuevas posibilidades de interacción y comunicación global, creando espacios sin restricciones espacio-temporales (Schwab, 2016), dando paso a la “sociedad de la información” (UNESCO, 2016), donde la Big Data y el Open Access son la moneda de cambio en la era digital (Benedikt Frey, 2019; Castells, 2005; Harari, 2018; Khan, 2019), así, los ciudadanos pueden satisfacer sus necesidades de información utilizando los recursos en línea; esta transformación social deriva en una expansión en la calidad y almacenamiento de la información (Masuda, 1984).



Esta sociedad de la Información es la piedra angular de las “sociedades del conocimiento” concepto asociado a transformación social, cultural, económica, política e institucional, así como a una perspectiva más pluralista y de desarrollo (Blindé, 2005); este concepto expresa con mayor claridad el carácter complejo y dinámico de los cambios que se están dando; el conocimiento no sólo es importante para el crecimiento económico sino también para 'empoderar' y desarrollar todos los sectores de la sociedad (Benedikt Frey & Osborne, 2013; Blindé, 2005), al mismo tiempo, que generan sociedades más pluralistas, diversas, con una mayor movilidad, en las que se producen grandes desplazamientos (Delval, 2013) e intercambio cultural.

Sin embargo, los cambios socioeconómicos que se producen en la sociedad del conocimiento generan nuevas exigencias y necesidades sociales frente a las cuales la escuela apenas trata de balbucear una respuesta (Delval, 2013); frente a ese tipo de sociedad, la educación debe promover una formación basada en la adquisición de conocimientos y permitir el desarrollo de habilidades como la selección y procesamiento de la información, la autonomía, la capacidad para tomar decisiones, el trabajo en grupo (Delval, 2013; Robinson, 2015).

Ante este panorama, parece que las escuelas no se transforman al mismo ritmo que la sociedad (Delval, 2013, p. 2), en consecuencia, es necesario investigaciones orientadas a plantearse cómo deberían ser los centros educativos para preparar a los jóvenes a vivir en condiciones que cambian cada día más rápidamente (Bakker & Montessori, 2016; Beard, 2019; Khan, 2019; Robinson, 2015). No obstante, la escuela nueva (Hamdan, 2013) a inicios del siglo XX planteo una serie de principios y orientaciones donde la educación se centraba en preparar al estudiante para la vida, desde el desarrollo de habilidades.

Sin embargo, los avances en el funcionamiento del cerebro desde las investigaciones en neurociencia, desarrollo temprano de los niños, psicología e inteligencia artificial, dan indicios sobre cómo deberían ser los sistemas educativos del futuro, basados en tres aspectos fundamentales, el pensamiento divergente (Robinson, 2015), la creatividad apoyada en la “maestría de Shanghái” que se basa en ejercicios, repetición y memoria (Beard, 2019); y la enseñanza a partir de problemas y proyectos reales que tengan un valor real en el mundo (Golinkoff & Hirsh-Pasek, 2016; Rivas, 2014) como los algoritmos computacionales, los Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS, dinámicas de mercado y Cuestiones Sociocientíficas - CSC.

Así pues, la creatividad e innovación serán las habilidades a fortalecer en los estudiantes (Christensen, Johnson, & Horn, 2008), a partir de las seis E como propone Golinkoff y Hirsh-Pasek (2016), el aprendizaje personalizado, la interacción humana y el pensamiento alternativo (Slayback, 2016) serán otros aspectos claves, donde la interacción social será la base de la educación del siglo XXI, Michael Tomasello (2014) describe este hecho como la “atención o intencionalidad compartida” - *Collective Intentionality*, es decir, el aprendizaje es resultado de un aspecto social y colaborativo, con la acumulación constante del conocimiento.

### 3.2 Educación en ciencias

En la sociedad del conocimiento, la riqueza de las naciones depende de su capacidad para producir conocimiento, tecnologías e innovación (Zambrano Farías, 2017), una sociedad capaz de gestionar el conocimiento engrandece la cultura, mejora la salud, y brinda posibilidades de desarrollo personal (Beard, 2019; Harlen, 2010).

Por ende, la educación en ciencias se convierte en una buena estrategia de desarrollo social, aunque no se trata solo de educar científicos, sino una educación más amplia, que llegue a la mayor cantidad posible de personas, así tomar decisiones frente a las dinámicas de constante cambio social (UNESCO, 2016). Así pues, el objetivo principal de la educación en ciencias debiera ser capacitar a todos los individuos para que informadamente tomen parte en las decisiones y participen en acciones que afectan su bienestar personal, social y de su medio ambiente (Harlen, 2010).

Esta perspectiva de educación en ciencias, no pasa por memorización de ecuaciones y conceptos, radica en la base de la ciencia misma, observar, hacer preguntas y buscar un método para dar respuesta, así Wynne Harlen (2010) indica que “la meta de la educación en ciencias no es un cuerpo de hechos y teorías, es más bien una progresión hacia ideas claves que permitan entender eventos y fenómenos de relevancia para la vida del estudiante” (p. 2); no obstante, la ciencia escolar en la actualidad deja a muchos estudiantes sin posibilidad de aproximarse a las grandes ideas de la ciencia que podrían ayudarles a entender aquello que los rodea, y a tomar parte en las decisiones como ciudadanos informados (Lederman, Lederman, & Antink, 2013; UNESCO, 2016).

Reconocer necesidades vitales, clasificar seres vivos, interpretar información, determinar efecto de prácticas comunes, reconocer conclusiones de una actividad experimental, comprender interacciones entre sistemas corporales, relacionar un diseño experimental con la pregunta que se quiere responder (UNESCO, 2016), han sido habilidades que tradicionalmente la educación en ciencias busca fortalecer (Rivas, 2014), habilidades que no son suficientes en tiempos de complejidad, es necesaria una alfabetización científica.

En consecuencia, “the essential nature of scientific literacy is that which influences students’ decisions about personal and societal problems” (Lederman et al., 2013, p. 141) en el contexto del desarrollo de habilidades para el siglo XXI, la capacidad de adaptarse a distintas situaciones, con el análisis de datos (Open Access), el uso de nuevas técnicas e instrumentos para hacer observaciones (Slayback, 2016), interpretación de distintos tipos de lenguaje y formas de comunicar ideas (Golinkoff & Hirsh-Pasek, 2016), desde la resolución de problemas no rutinarios y de aplicaciones que impliquen un reto con un grado de complejidad que permita la autogestión y autodesarrollo, son una oportunidad de diseñar y conducir investigaciones científicas individualmente o en grupo (Bybee, 2010; Hung, 2013) desde el pensamiento sistémico, clave en la investigación de frontera.

No obstante, para el desarrollo de estas habilidades Rodger W. Bybee (2010) propone que los estudiantes deben tener experiencia con actividades, investigaciones y experimentos reales, es decir, la enseñanza de las ciencias debe partir de la indagación científica, ya que el conocimiento sobre la naturaleza de las ciencias y su proceso de investigación provee un punto de partida para el conocimiento científico; si los estudiantes no tienen una correcta interacción con la indagación científica, las consecuencias son un conocimiento científico descontextualizado (UNESCO, 2016), por ende, la toma de decisiones y pensamiento crítico en el estudiante no se adaptan a las dinámicas sociales perpetuando la visión general de la ciencia.

Otro aspecto clave en la educación en ciencias para el siglo XXI, es la filosofía, historia y la sociología de la ciencia, con el potencial de derivar en percepciones de ciencia, en un contexto y aplicación más amplio por los estudiantes (Lederman et al., 2013). Así, una propuesta en el desarrollo de la educación en ciencias para el presente siglo la encontramos en “Hole in the Wall” de Sugata Mitra y R. Dangwal (2010), iniciativa que demostró el alcance del aprendizaje autoorganizado por exploración, que permite a los estudiantes construir su propio conocimiento a partir de sus necesidades.

Entre sus conclusiones destaca que solo es necesario un ambiente estimulante y un reto para que el proceso de aprendizaje se ponga en marcha, con una intervención mínima del profesor, orientador o padre de familia, así, los niños aprenderán lo que les interese aprender, en otras palabras, si existe el interés, los procesos de aprendizaje se dinamizan (Mitra & Dangwal, 2010).

Por su parte, el trabajo en grupo surge como oportunidad en el aula, a partir de los estudios de Michael Tomasello (2014), el trabajo colaborativo y atención compartida permite el intercambio de saberes, los niños colaboran para descubrir aquello que les interesa, discuten, argumentan y se ayudan unos a otros para avanzar en el proceso de aprendizaje (Mitra & Dangwal, 2010), lo que deriva en un aprendizaje significativo de los contenidos. En este propósito, la tecnología educativa presenta un valioso aporte especialmente en escenarios vulnerables (Beard, 2019; Golinkoff & Hirsh-Pasek, 2016; Robinson, 2015), generando nuevas pedagogías y didácticas acordes con los tiempos de complejidad creciente.

Finalmente, esta revisión pone de manifiesto que el “error” es parte del proceso de aprendizaje, donde las respuestas correctas y la verdad pasan a un segundo plano, dando el salto de lógicas clásicas a un razonamiento colaborativo (lógicas no clásicas). Ante este panorama, las escuelas, tal y como las conocemos, no dan respuesta a dinámicas no lineales, están diseñadas para responder a la preparación para un trabajo enmarcado en la revolución industrial, con sociedades rígidas, estandarizadas, y autoritarias, una sociedad que no es la actual ni la que nos espera en el futuro.

### 3.3 Avances en investigación

Las condiciones sociales actuales, presenta exigencias cambiantes y complejas, que implican la estructuración de una educación de mayor calidad, coherente con las necesidades específicas en términos del mercado laboral, relaciones sociales, personales y familiares, y que afronten los desafíos del presente siglo.

En consecuencia, el avance en investigación en educación en ciencias muestra una tendencia al aprendizaje en contexto, a partir de retos con niveles justos de complejidad, descritas en el Anexo B. Uno de los campos con mayor avance es la tecnología educativa, así, el uso de las Tecnologías de la Información y de Comunicación-TIC desde sus diferentes modalidades de formación, los video

tutoriales, podcast, MOOC, sistemas de gestión del aprendizaje, SCROM entre otros avances descritos en: (Boluda López, 2011; Hederich Martínez et al., 2014; Liu, Bhagat, Gao, Chang, & Huang, 2017; Lo, 2018; Salcedo Torres et al., 2007).

Una experiencia exitosa en tecnología educativa aplicada a la educación en ciencias es la plataforma Khan Academy, una serie de videos educativos estructurados que ofrecen contenidos complementarios en diferentes áreas del aprendizaje utiliza los ejercicios interactivos en sus lecciones y contenidos en forma de artículo, ampliamente utilizados en “aula invertida – flipped classroom” explica su fundador Salman Khan (2011).

El pensamiento crítico, el fortalecimiento de procesos argumentativos y la alfabetización científica, es otro campo ampliamente investigado en didáctica de las ciencias, desde las relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente CTSA, ancladas con el conocimiento didáctico del contenido y la formación de profesores (Martínez Pérez & Parga Lozano, 2018); la solución de problemas (Gaenza Chávez, 2018; García Sevilla, 2008), la comunicación efectiva o educar desde el sentir (Claret Zambrano, Iveth Salazar, Candela, & Yurani Villa, 2017; Pirela Morillo, 2007)(Pirela Morillo, 2007), son otros avances que pasan por una educación centrada en el estudiante, personalizada y estructurada bajo ambientes de aprendizaje.

Por su parte, el aprendizaje basado en problemas caracterizado por hacer responsable al estudiante de su proceso de aprendizaje, en donde se formulan problemas en donde el estudiante al intentar dar respuesta debe indagar, reflexionar y trabajar en equipo, construyendo su propio conocimiento, donde el profesor funge como guía para alcanzar los objetivos de aprendizaje planteados (Barrows, 1986), es otra área en desarrollo.

Otra experiencia exitosa se presenta en la Universidad 42 (Pighi Bel, 2016), una institución sin profesores, cuyo propósito es que los alumnos piensen de manera creativa e innovadora, "Un profesor te diría: las cosas son así, de una determinada manera. Son A o B. En 42 no hay nadie que te enseñe el camino. Uno crea su propio camino e innova" (Pighi Bel, 2016), en cambio, se crean entornos de aprendizaje online sin profesores, autoorganizados bajo un reto “en 42 sólo decimos a los alumnos que creen una web. No les damos la solución, ellos la buscan solos" (Pighi Bel, 2016), en esta institución los estudiantes no solo aprenden ciencia, si no aprenden a aprender ciencia desde problemas complejos.

Finalmente, la dimensión investigativa e innovación en las instituciones educativas, cobra cada vez más fuerza, desde semilleros, colectivos y pequeños grupos de investigación, que a partir de líneas y proyectos formulados directamente por los estudiantes, se generan ambientes y comunidades de aprendizaje autónomas (Christensen et al., 2008; Golinkoff & Hirsh-Pasek, 2016; Rivas, 2017).

#### 4. LA EDUCACIÓN COMO OBJETO DE INTERÉS PARA LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

La educación, desde sus procesos educativos y ambientes de aprendizaje, es en esencia un fenómeno dinámico, que en el mundo contemporáneo de entornos cambiantes y turbulentos, mediados por fenómenos de complejidad creciente, lo constituye en un sistema abierto, no lineal y alejado del equilibrio (Madonado, 2014), sensible a los procesos, estructuras y dinámicas del entorno.

Así pues, un organismo vivo es complejo porque tiene muchas partes diferentes trabajando e interaccionando bajo redes no lineales descritas por el material genético (Goldenfeld & Kadanoff, 1999), la educación no difiere mucho de un organismo vivo, es decir, la educación es compleja por que la complejidad significa que tenemos estructura con variaciones.

En este sentido, todo aquello que pasa en un aula de clase es un fenómeno en definitiva alejado del equilibrio, en el aula confluyen historias de vida, experiencias, entornos familiares, problemáticas sociales y económicos, información, profesores, alumnos, contextos y entornos dinámicos multiculturales, que forman la personalidad de los agentes que hacen parte del sistema (M. Bar-Yam et al., 2002).

Dicho sistema actúa en entornos dinámicos, no lineales, autoorganizantes y de emergencia, aspectos que definen el carácter complejo de la educación, intrínsecamente relacionados con los procesos abiertos del conocimiento, donde las ideas de multiculturalismo, pluralismo lógico y resolución de problemas apuntan a la complejización de la educación (Madonado, 2014), determinada por la ampliación de los grados de libertad (Yaneer, 1997), que generan procesos de continua indeterminación en los modos de aprendizaje, rasgo principal que separa las ciencias de la complejidad del llamado pensamiento complejo.

Este paradigma de ver la educación desplaza la idea tradicional de ver los procesos formativos del estudiante, sacando el aprendizaje de un lugar a un entorno (Bakker & Montessori, 2016), "in many schools across the world, children in masse get dropped off and enter building where they become the recipient of linear "teaching" and tests. They go home, do homework, and start over again the next day" (Aldrich, 2011, p. 12), pasando de procesos lineales, a emergencia, creatividad, innovación, descubrimiento e interacción social; de sistemas en equilibrio a sistemas vivos.

No obstante, es de destacar las palabras de Maldonado (2014) “la educación no debe comprenderse desde en el marco de las ciencias de la complejidad, sino que se debe comprender la *complejidad* en si del proceso educativo” (p. 23), atendiendo a la discontinuidad entre espacio – tiempo (Mennin, 2010), entre la causa y efecto.

Así pues, la educación vista como un sistema de complejidad creciente, y no centrada en la memoria, didáctica, programas, indicadores, mediciones, factores de impacto y competencias (base de la educación institucionalizada), “nada más opuesto a la complejidad que las dinámicas y estructuras de orden institucional” (Maldonado, 2014, p. 20); atendiendo a las palabras de Goldenfeld y Kadanoff (1999) “everything is simple, neat, and expressible in terms of everyday mathematics, either partial differential or ordinary differential equations Everything is simple and neat except, of course, the world” (p. 87).

Por ende, en este capítulo se intentará dar respuesta a preguntas como ¿Cuáles son las características de una educación compleja? Y ¿Cómo desde las ciencias de la complejidad podemos afrontar los desafíos de la educación en ciencias en tiempos de complejidad? Desde el análisis del aula como sistema complejo adaptativo a partir de la personalidad de los agentes educativos.

#### 4.1 El aula como sistema complejo adaptativo

El estructuralismo fue uno de los enfoques más populares en el siglo XX, utilizado ampliamente en disciplinas científicas, lingüística, antropología, etnografía, teoría literaria, entre otras, con el objetivo de describir las relaciones entre los elementos de un sistema (Érdi, 2008).

Así, Jean Piaget (1896-1980), psicólogo suizo, aplicó el estructuralismo al desarrollo mental y el cerebro, ciertamente una estructura con altos grados de complejidad; Piaget clasificó al desarrollo del niño en cuatro etapas, la última alrededor de los 11 años caracterizada por la habilidad del niño de desarrollar su pensamiento abstracto (Siemens, 2004); la transición entre etapas son impulsadas por errores, errores acumulados que requieren de una reorganización estructural, por ende, Piaget estaba investigando las bases de los sistemas dinámicos, no lineales y autoorganizantes, que dan paso a la vida (Érdi, 2008; Heylighen, 2002).

Por su parte, Warren Weaver (1948) en su artículo “Science and Complexity” fija las primeras aproximaciones conceptuales de los sistemas complejos al establecer tres problemas científicos: la simplicidad, problemas que pueden resolverse con pocas



variables; la complejidad desorganizada, resultado de mecanismos estadísticos; y la complejidad organizada que rige la vida y la sociedad. Weaver a los fenómenos donde intervienen un amplio número de factores que forman un todo los clasifico como “complejidad organizada”, dando paso al modelo sistémico de Von Bertalanffy que promulgó la existencia de sistemas abiertos señalando la presencia de límites o fronteras (Érdi, 2008).

Posteriormente, para mostrar las relaciones entre los subsistemas, la Cibernética se encargó de estudiar los procesos comunicativos entre los subsistemas, y fue Maturana y Varela (1998) quienes acuñaron en este contexto los conceptos de autonomía y autopoiesis para diferenciar a los sistemas vivos de los artificiales, ligados al ámbito de la Ingeniería y las Ciencias de lo Artificial desarrollados especialmente por Herbert A. Simon en su trabajo titulado “La arquitectura de la Complejidad”, donde establece una distinción de estructura jerárquica de estos sistemas complejos (Érdi, 2008; Maldonado, 2005).

Estos planteamientos llevaron a la conclusión que los sistemas complejos aprenden, como consecuencia, puede adaptarse, es decir, tienen la capacidad de entender el entorno, y responder ante perturbaciones y fluctuaciones que alteren el sistema; esta idea merece el reconocimiento explícito de que el aprendizaje no es un hecho generalizado en la cultura humana (Maldonado, 2015).

Además, todo sistema complejo se caracteriza por la existencia de interacciones relevantes entre sus componentes, en educación podemos distinguir tres componentes principales, el estudiantes, el profesor y la información, donde el comportamiento del conjunto no puede predecirse sin considerar estas interacciones, ya que estas co-determinan el estado futuro de las propiedades del sistema (De Domenico et al., 2019); por consiguiente, estas interacciones generan información nueva, que no se encuentra en las condiciones iniciales ni en las de frontera, lo que lleva a la construcción colectiva del conocimiento.

Así pues, la estabilidad del sistema depende del grado de alteración ante agentes perturbadores (Goldenfeld & Kadanoff, 1999; Heylighen et al., 2006), donde pequeños cambios ambientales pueden cambiar completamente el comportamiento del sistema, conocidos como bifurcaciones, transiciones de fase o puntos de inflexión (Érdi, 2008) que tienen origen en su entorno. Otro hecho importante es que los componentes del sistema también pueden ser sistemas completamente nuevos, que conducen a sistemas de sistemas interdependientes entre sí (Érdi, 2008; Goldenfeld & Kadanoff, 1999), en el aula de clase el estudiante, el profesor,

directivos y demás agentes educativos, tienen personalidad, hasta la información utilizada tiene un rastro histórico, así, el aula se constituye como un cumulo de subsistemas interdependientes (Bakker & Montessori, 2016).

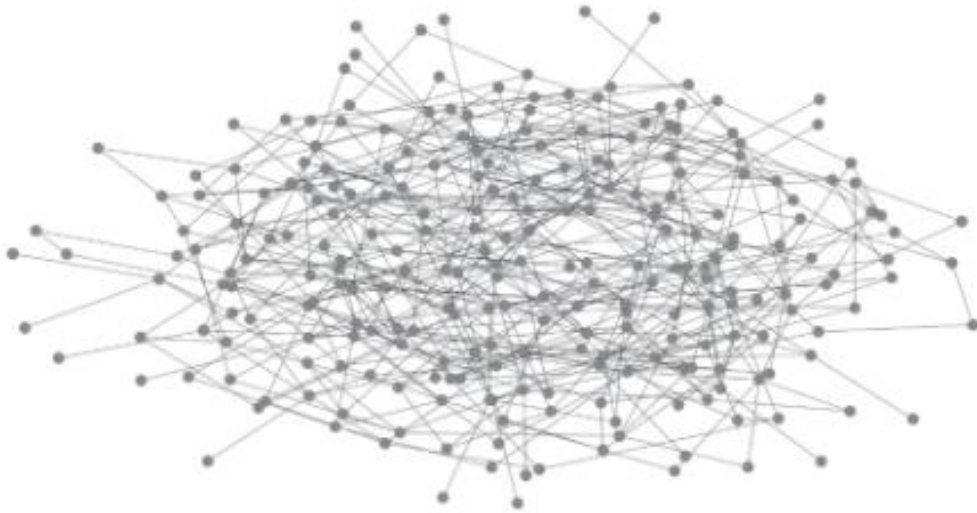
*Ilustración 3. Red de amistades entre estudiantes de secundaria.*



Fuente de (Jackson, 2019, p. 23).

Estas interdependencias en el aula permiten entender el funcionamiento del sistema y como este se autoorganiza, en la ilustración 3 y 4 se detalla una red de interacciones entre amigos de una institución educativa, donde el propósito es entender el comportamiento humano, se evidencian unas fuertes relaciones entre nodos, y algunas situaciones estáticas, características del comportamiento humano (Jackson, 2019).

*Ilustración 4. Red aleatoria con el número de enlaces entre posibles amistades*



Fuente de (Jackson, 2019, p. 23).

En lugar de simplemente avanzar hacia un estado estable, los sistemas complejos a menudo son activos y responden al medio ambiente, la diferencia entre una pelota que rueda hacia el fondo de una colina y se detiene y un pájaro que se adapta a las corrientes de viento mientras vuela (Érdi, 2008). Esta adaptación puede ocurrir en múltiples escalas claves al entender el aula como sistema complejo: la cognitiva, a través del aprendizaje y el desarrollo psicológico; social, mediante el intercambio de información a través de lazos sociales; o incluso evolutivo, a través de la variación genética y la selección natural, vista como la personalidad del sujeto.

En este sentido, la robustez vista como la capacidad de soportar perturbaciones, la resiliencia, capacidad de volver al estado original después de una gran perturbación, y adaptación, capacidad de cambiar el sistema en sí para permanecer funcional y sobrevivir (Bakker & Montessori, 2016; Érdi, 2008; Goldenfeld & Kadanoff, 1999), son propiedades características de los “sistemas complejos adaptativos”, pero ¿hasta qué punto el aula es un sistema complejo adaptativo?

El sistema inmune por ejemplo está continuamente aprendiendo sobre patógenos, una colonia de termitas repara los daños causados a su montículo, y la vida en la tierra que ha sobrevivido a numerosos eventos de crisis en miles de millones de años de su historia son ejemplos de sistemas complejos adaptativos. En el aula se configura un sistema cognitivo, que a su vez es complejo, donde las funciones cognitivas, conductuales y emocionales, realizadas por los agentes del sistema que

interaccionan de forma dinámica, generan un estado emergente del sistema, con patrones de comportamiento definidos (Hung, 2013, p. 368), este nuevo estado emergente del sistema está definido por mecanismos de autoorganización adaptables a los agentes externos que perturban al sistema constantemente (agentes perturbadores), dicho estado de emergencia en teoría de sistemas se conoce como “propiedades de la totalidad” (Von Bertalanffy, 1969, p. 162) que permite encaminar el sistema a un objetivo común, en el caso de la educación hacia un aprendizaje significativo a partir de la construcción colectiva del conocimiento.

El conocimiento es reflejo de la realidad que está allí afuera, el conocer no modifica esta realidad ya que el observador no interfiere en absoluto con su objeto de estudio, así, el sistema educativo tradicional se enmarca en una enseñanza “convergente” (M. Bar-Yam et al., 2002) es decir, la enseñanza se dirige a una materia específica, altamente estructurado y centrado en el profesor, donde los estudiantes son receptores pasivos de los conocimientos que se les transmiten y los logros de aprendizaje se miden por pruebas estandarizadas (Bakker & Montessori, 2016; M. Bar-Yam et al., 2002; Beard, 2019; Robinson, 2015).

No obstante, si reconocemos la complejidad del aula como sistema adaptativo, es posible pasar de la enseñanza “convergente” a una enseñanza “divergente” autodirigida y altamente organizada, este enfoque divergente es flexible, centrado en el estudiante, donde los estudiantes son participantes activos en el proceso de aprendizaje (M. Bar-Yam et al., 2002), donde los logros de aprendizaje son evaluados a partir de la aplicación del conocimiento en problemas reales, portafolios, proyectos de innovación y creativos.

Esta idea de complejizar la educación, tienen fuertes implicaciones directas para el sistema educativo, la tendencia en nuestras escuelas es enseñar fragmentos de información en disciplinas, no obstante, el plan de estudios puede integrarse en torno a temas que reflejan los patrones, interacciones e interdependencias de los diferentes campos del conocimiento (M. Bar-Yam et al., 2002); esto puede proporcionar a los estudiantes formas de estudiar e intentar comprender el mundo que los rodea a través de conceptos e ideas que son menos dispares o desconectados de la realidad (Bakker & Montessori, 2016), habilidades claves en la sociedad del conocimiento.

La ciencia en la actualidad se está desarrollando a partir de colaboraciones interdisciplinarias y constante intercambio de información, donde los esfuerzos por encontrar soluciones pragmáticas a los problemas mundiales tienen implicaciones

adicionales para la educación, que se debe centrar en una formación integral y creativa del estudiante (M. Bar-Yam et al., 2002).

En síntesis, la educación puede ser vista como un sistema de complejidad creciente, y no simple y llanamente como un fenómeno centrado en la memoria y el repaso de concepto desactualizados, tradición en el mundo occidental (Madonado, 2014), las instituciones educativas se deben redefinir ante los retos de siglo XXI, pasar de estructuras rígidas y estandarizadas, a organizaciones flexibles que apunten a procesos autoorganizativos que generen conocimiento desde la interacción social y no desde el aislamiento.

En consecuencia, la educación, en todo el sentido de la palabra, se trata de posibilidades de y para la vida, antes que el “desarrollo” de destrezas, competencias, técnicas y contenidos teóricos, que rigen el comportamiento. Esto es complejizar la educación, reconocer el aula como un sistema vivo, de interacción constante.

#### 4.2 Personalidad de los agentes educativos

Una sociedad, tiene propiedades y características descritas en costumbres, lenguaje, moda, valores, cultura, que son un producto de la interacción no sólo entre individuos, sino también de la interacción entre individuo y sociedad a distintas escalas (Heylighen et al., 2006).

Cada individuo, se relaciona creando redes interconectadas de comunicación, la complejidad de las interacciones parte de las características de la personalidad de las personas, sus habilidades y formas de comunicación; no obstante, la personalidad junto con otros factores que afectan el aprendizaje parece demasiado difícil de abordar para el sistema educativo tradicional, la respuesta es la creación de estándares que categorizan al estudiante según competencias, privándolos de las dinámicas propias de la vida como sistema no lineal, alejado del equilibrio (Bakker & Montessori, 2016; M. Bar-Yam et al., 2002; Madonado, 2014).

Muchos educadores y administradores educativos están convencidos de que es muy difícil implementar estrategias de enseñanza multidimensionales en el aula. Sin embargo, es posible analizar las interacciones entre las características de los estudiantes y los maestros, así, examinar de cerca los diferentes resultados y estilos de aprendizaje de cada estudiante (M. Bar-Yam et al., 2002); la ciencia de datos permite el análisis de similitud entre estudiantes poniendo énfasis en lo que

presentan mayores dificultades, una forma de incluir la dimensión multimodal en el aula desde la personalidad de los sujetos.

Estas interacciones entre profesor, alumno e información deben explorarse más a fondo para encontrar mayores datos sobre los diversos factores que afectan el proceso de enseñanza aprendizaje no lineales e indeterminados. Los resultados de dicha exploración pueden ser muy útiles en la búsqueda de mejorar la efectividad de la enseñanza y los logros de los estudiantes (M. Bar-Yam et al., 2002).

En resumen, los intentos de unir las estrategias de enseñanza con las características de los estudiantes pueden convertirse en pasos críticos para abordar algunos de los problemas particularmente difíciles del proceso de enseñanza y aprendizaje desde la complejidad. En este sentido, los roles específicos, tareas, y actividades que asumen los miembros del sistema, se determinan por las habilidades, experiencia, y conocimientos que tenga el sujeto (Salas & Fiore, 2004); donde los miembros del sistema (visto en términos práctico como trabajo en equipo) dependen entre sí para cumplir sus propias tareas, y finalmente lograr el objetivo de resolver el problema.

La teoría de sistemas de Von Bertalanffy (1969) y el avance en investigación sobre los sistemas complejos adaptativos, indican que es la interdependencia y las interrelaciones entre los sujetos que hacen que un sistema, en este caso el equipo de trabajo sea funcional, y no un conjunto de partes simples, sin orden, que trabajan individualmente para resolver un problema, por ende, los objetivos de aprendizaje propuestos por el docente no se llegan a cumplirse (Gorbalenya et al., 2020).

Finalmente, es de destacar que este desconocimiento de la personalidad en los escenarios educativos es una posible parte de la causa de los problemas endémicos de la educación, como la deserción, inclusión educativa, acoso escolar, enfermedades derivadas de la práctica docente, índices de desempleo, intolerancia, agresión, estén en aumento en los últimos años (Beltrán-Villamizar, Martínez-Fuentes, & Vargas-Beltrán, 2015; OREALC/UNESCO, 2013).

Todos problemas derivados de un sistema educativo que no cumple con las necesidades actuales de formación de las personas, pues, no es suficiente educar desde la conducta o la cognición que estructuran el conocimiento desde situaciones a menudo abstractas y lineales (Siemens, 2004), que desconocen el papel del entorno e interacción social en la personalidad de las personas (Tomasello, 2014).

### 4.3 Mecanismos de autoorganización

En sistemas simples, como lo indica W. Weaver (1948) las propiedades del conjunto se pueden entender o predecir a partir de la adición de sus componentes, en otras palabras, las propiedades macroscópicas de un sistema simple pueden deducirse de las propiedades microscópicas de sus partes (Érdi, 2008).

Sin embargo, en sistemas complejos, las propiedades del todo a menudo no pueden entenderse o predecirse a partir del conocimiento de sus componentes, debido a la “emergencia” definida por Murray Gell-Man como “You don't need something more to get something more. That's what emergence means” (2007), donde se involucran diversos mecanismos que causan la interacción entre los componentes de un sistema para generar nueva información, exhibiendo estructuras y comportamientos colectivos no triviales a escalas más grandes (De Domenico et al., 2019), Prigogine llamaría a este fenómeno “estructuras disipativas” (Prigogine, 2004). Este hecho generalmente se resume con popular frase de Anderson (1972) “el todo es más que la suma de sus partes”.

Así, los procesos de autoorganización en sistemas complejos que generan emergencia y nuevas estructuras son característicos de la vida y fenómenos naturales como la organización de una cantidad masiva de moléculas de aire, el vapor que forman un tornado, multiplicidad de células organizadas bajo una estructura genómica que forman un organismo vivo, miles de millones de neuronas en un cerebro que producen conciencia e inteligencia (De Domenico et al., 2019); ciudades, el transporte, y relaciones sociales son ejemplos de sistemas altamente autoorganizados.

Este proceso de autoorganización en el aula se traduce en conocimiento, donde un grupo de agentes (que también son sistemas complejos) interactúan entre sí, con un interés particular, que los lleva a trabajar en equipo para solucionar un problema en común, lo que Yuval Noah Harari (2014) y Martin Nowak (2012) han denominado como “Supercooperativismo” o “Supercooperadores”, así, los individuos cooperan, indagando, definiendo, organizando y aplicando el conocimiento para dar respuesta a un problema real.

Así pues, los fenómenos de autoorganización en procesos educativos deben ser entendidos como procesos de retroalimentación y reflexión desde bucles no lineales que promueven condiciones de emergencia favorables para el aprendizaje (Mitra &

Hattie, 2019), es decir, el aprendizaje es una propiedad que surge continuamente de la autoorganización (Friedenberg, 2009; Yaneer, 1997).

En consecuencia, el aprendizaje es un fenómeno emergente que surge de manera espontánea en un ambiente adecuado, la educación se organiza por sí misma, sin intervención explícita del exterior, el alumno evoluciona y empieza a hacer cosas que no estaban previstas, aprendiendo más allá de lo que se había planteado en un inicio (Mitra & Hattie, 2019).

Así, el futuro de la educación pasa por procesos autoorganizativos, ya sea en escenarios educativos como el aula o en casa mediante ambientes virtuales de aprendizaje, la complejización de la educación apuesta por el trabajo colaborativo y constante interacción social (Bakker & Montessori, 2016), libres de crear, y compartir información sin dirección o niveles de jerarquía, así, los adultos pueden aprender de los niños y los jóvenes de los ancianos, y viceversa (Mitra & Hattie, 2019), solo es necesaria la creatividad e innovación en el siglo XXI, apoyada en tecnologías convergentes que crean *interdependencia funcional* (Hung, 2013, p. 369).

Esta visión educativa, redefine el papel del docente, en una educación compleja el docente pasa de emitir información a ser responsable de plantear las preguntas o retos para sus estudiantes; la información se encuentra en red, dando espacio a incentivar la creatividad e investigación, donde las respuestas son una construcción colectiva del conocimiento (Bakker & Montessori, 2016; M. Bar-Yam et al., 2002; Clarke & Collins, 2007; Hung, 2013; Mitra & Hattie, 2019).

Por tanto, las grandes preguntas despiertan el aprendizaje, la chispa inicial hacia el descubrimiento, despertando la imaginación y la curiosidad de los niños, por ende, una formación integral del docente es el pilar en el camino de una educación autoorganizada, con capacidad de encontrar grandes preguntas, retadoras, interesantes y relevantes, indisciplinadas, incluso, imposibles de responder (Madonado, 2014; Mitra & Hattie, 2019).

En consecuencia, los problemas complejos que están más cercanos a la realidad, no se estructuran ni teorizan bajo preconceptos, por el contrario, los conceptos surgen del aparente caos al que se expone el estudiante, con múltiples variables de análisis y agentes perturbadores, que definen el problema como un sistema complejo, en el que cada posible solución deriva en el aumento de entropía, es decir



un grado mayor de complejidad (Gaenza Chávez, 2018; Hung, 2013), proceso ideal en los ambientes de aprendizaje (Y. Bar-Yam, 2004).

Una de las características de los problemas complejos en educación es un mayor procesamiento cognitivo para entender las relaciones e incertidumbres propias de estos sistemas, donde “el trabajo en equipo en términos de Supercooperativismo cobra gran importancia en la experiencia” (Hung, 2013, p. 366, trad), así, las interacciones que surgen de los sujetos involucran procesos tanto conductuales, motivacionales, como afectivos (DeChurch & Mesmer Magnus, 2010; Salas & Fiore, 2004), donde, el componente cognitivo es quizá el más importante.

Finalmente, hay que mencionar, que el trabajo con problemas complejos implica lidiar con un alto nivel de incertidumbre, que aumenta con los grados de libertad (variables) (Y. Bar-Yam, 2004), esto lleva a un aumento de entropía del sistema, es decir, un nivel mayor de complejidad (Prigogine & Stengers, 1990); ser consciente de esta situación y poder adaptarse a los cambios de manera estratégica, determina el éxito del equipo al resolver el problema, por ende, del sistema educativo (Bakker & Montessori, 2016).

En consecuencia, el principal desafío de la ciencia de la complejidad no es solo ver las partes y conexiones del sistema educativo, también comprender cómo estas conexiones dan lugar al conjunto; estos fenómenos de complejidad creciente, se evidencian con mayor precisión en los sistemas vivos, en los procesos que dan origen a la vida, sistemas totalmente integrados que no pueden ser reducidos a sus partes (Capra, 1998), y son precisamente estas propiedades del conjunto las que determinan las propiedades emergentes que describen los comportamientos sociales, la cultura, valores, y procesos creativos claves en procesos de aprendizaje que afronten los desafíos que depara el futuro.

#### 4.4 Avances en investigación

Algunas de las investigaciones que intentan reconocer el carácter complejo del proceso educativo se enmarcan en la no linealidad del aprendizaje invisible de Cristóbal Cobo y John Marovec; Richard Gerver a partir del desarrollo de la conciencia del potencial y la creatividad humana; el aprender haciendo de Roger Schank; la educación personalizada descrita por David Albury; la filosofía y metodología “technological pedagogical content knowledge TPACK”.

Procesos de investigación en caminados al fortalecimiento de una nueva teoría de aprendizaje a un en desarrollo, acorde con la era digital y sociedad del conocimiento que atravesamos, el Conectivismo estudiado por George Siemens y Stephen Downes (Gutiérrez Campos, 2012), donde el proceso de aprendizaje es un fenómeno que sucede de abajo hacia arriba *–bottom-up–*, o como un proceso multinivel que elimina la centralidad y jerarquía rígida tradicional (Madonado, 2014), así, se consolidan la comunidad de aprendizaje en red ampliamente extendidas gracias al avance en las TIC.

Así pues, el conectivismo reconoce los ambientes de aprendizaje como sistemas complejos, a partir de la ciencia de redes, con la idea principal de desarrollar habilidades de conectividad con fuentes de conocimiento necesarias en determinado momentos (Siemens, 2004), aspecto descrito en el libro: Siemens, G. (2006). *Knowing knowledge*.

No obstante, es claro que el panorama de la complejidad y educación está dominado en Latinoamérica por el pensamiento complejo de E. Morín, particularmente desde su libro *siete saberes necesarios para la educación del futuro* (1999); así, en Colombia se formuló un manual de *iniciación pedagógica al pensamiento complejo* (2003), además de un trabajo de compilación del profesor Sergio González en 1997 que muestran una fuerte relación entre el pensamiento complejo y la educación, sin llegar al nivel de libertad que caracteriza la complejización de la educación; igualmente, en México se fundó la Red Mexicana de Pensamiento Complejo, que da origen a la cátedra de Unesco Edgar Morin (Dimate Rodríguez, 2007); entre otras revistas y eventos académicos dedicados al trabajo en pensamiento complejo.

Sin embargo, es de destacar algunos trabajos que pretenden complejizar la educación particularmente en lengua inglesa, desde las ciencias de la complejidad, descritos en el Anexo C.

## 5. CONCLUSIONES

Las ciencias de la complejidad surgidas como campo de investigación en el Instituto Santa Fe, por un grupo de científicos, e investigadores en diversas áreas interesados en estudiar la vida al borde del caos, la inteligencia artificial y fenómenos de autoorganización en sistemas alejados del equilibrio, teoría elaborada por Ilya Prigogine, dieron paso a la investigación de fenómenos relacionados estrechamente con procesos dinámicos, no lineales y caóticos (en principio).

Estos campos de investigación tenían en común el estudio de sistemas complejos, integrados en las llamadas "ciencia de la complejidad", sistemas multi-agentes autónomos cuyas interacciones locales dan lugar a un orden y estructura definida; así, los sistemas complejos son universales, es decir, en diferentes dominios muestran fenómenos con características subyacentes comunes que pueden describirse utilizando modelos científicos.

Así, muchas de las últimas tecnologías, desde redes sociales, tecnologías móviles hasta vehículos autónomos y blockchain, han surgido a partir de las investigaciones en ciencias de la complejidad, que están cambiando las relaciones en una sociedad enmarcada en los Grandes Datos y la información libre en red.

Estas dinámicas sociales características del presente siglo están redefiniendo el paradigma científico, evitando verdades absolutas y dinamizando la colaboración e intercambio constante de información entre investigadores que buscan dar respuesta a problemas reales y no a descripción de fenómenos naturales.

Esta nueva forma de pensar la ciencia tiene sus inicios en un influyente artículo de 1972 titulado "More is different" del físico y premio Nóbel Philip W. Anderson, en donde se enfatizó en una profunda diferencia conceptual entre las propiedades de los constituyentes individuales y las características emergentes de un sistema, dando paso a reconocer el carácter complejo del mundo, por ende, a estudio de la complejidad inherente a los sistemas sociales desde sus diferentes aspectos, políticos, culturales y educativos.

Así, en el futuro los avances científicos y tecnológicos en muchos campos necesariamente pasan por el estudio de sistemas complejos, dando el valor del conocimiento es construido desde el intercambio social y pasa hacer un activo valioso para un país, condición que define la sociedad del conocimiento. Ante este

hecho, la educación en el siglo XXI presenta grandes retos a nivel estructural y de contenido.

Estos cambios socioeconómicos que se producen en la sociedad del conocimiento generan nuevas exigencias y necesidades sociales que la educación debe afrontar, como la globalización, la crisis ambiental, el multiculturalismo, la automatización del trabajo, procesos de migración, entre otros derivados de tiempos de complejidad creciente, ante tal panorama, es necesario promover una formación basada en la adquisición de conocimientos desde la interacción social, que permite la indagación, selección y aplicación de la información en red, por ende, la autonomía, la capacidad para tomar decisiones, el trabajo en grupo, el pensamiento divergente y la creatividad son habilidades prácticas en las sociedad del conocimiento.

En cuanto a la creatividad se han desarrollado diferentes investigaciones orientadas al desarrollo temprano de los niños, en psicología y neurociencia, dando pinceladas al diseño de un aprendizaje personalizado y el fortalecimiento del pensamiento divergente en los estudiantes. Además, en el contexto del desarrollo de habilidades para el siglo XXI, la capacidad de adaptarse a distintas situaciones, con el análisis de datos, uso de nuevas técnicas e instrumentos para hacer observaciones e interpretación de distintos tipos de lenguaje y formas de comunicar ideas son particulares para la educación en ciencias.

Este hecho resalta la importancia de reconocer la complejidad inherente del sistema educativo, considerar el aula de clase como un sistema complejo adaptativo que permite estudiar su carácter aleatorio y como se dan las transiciones de fase que determinan las propiedades del sistema, es una alternativa en el camino hacia pensar una educación en ciencias que dé respuesta a las necesidades sociales, culturales, políticas y económicas que presentan los tiempos de complejidad creciente en marcados en la sociedad del conocimiento.

No obstante, esta idea reconocer los ambientes de aprendizaje como sistemas complejos adaptativos tienen fuertes implicaciones directas para el sistema educativo, dado que la tendencia en nuestras escuelas es enseñar fragmentos de información en disciplinas, no obstante, el plan de estudios puede integrarse en torno a temas que reflejan patrones, interacciones e interdependencias entre los diferentes campos del conocimiento, o más acorde a la complejidad la indisciplina del conocimiento que puede proporcionar a los estudiantes formas de estudiar e intentar comprender el mundo que los rodea a través de conceptos e ideas que son menos dispares o desconectados de la realidad, esta libertad de actuación de los

estudiantes frente al conocimiento es la principal característica de la complejización de la educación.

En consecuencia, la complejización de la educación significa un aprendizaje basado en la transformación de patrones, comportamientos y estructuras mentales desde la emergencia producida por procesos no lineales dinamizados por el profesor responsable de problematizar el aula; a partir de retroalimentación por bucles autoorganizados según agentes de perturbación, ampliando los grados de libertad que deriva en un aumento en la complejidad, vista como el número de interacciones entre los elementos del sistema.

Así, entender la complejidad del proceso educativo nos permite pasar de la enseñanza “convergente” a una enseñanza “divergente” autodirigida y altamente organizada, donde el enfoque divergente es flexible, centrado en el estudiante, donde los estudiantes, donde los logros de aprendizaje son evaluados a partir de la aplicación del conocimiento en problemas reales, portafolios, proyectos de innovación y creativos.

Por ende, la resolución de problemas no rutinarios y de aplicación que impliquen un reto con un grado de complejidad que permita la autogestión y autodesarrollo, son una oportunidad de diseñar y conducir investigaciones científicas individualmente o en grupo, crucial en la educación en ciencias, desde el pensamiento sistémico e interacción con la información de frontera, es decir, la enseñanza de las ciencias debe partir de la indagación científica.

Estas ideas ponen de manifiesto que el “error” es parte del proceso de aprendizaje, donde las respuestas correctas y la verdad pasan a un segundo plano, pasando de lógicas clásicas a lógicas no lineales desde un razonamiento colaborativo. No obstante, las escuelas, tal y como las conocemos, no dan respuesta a dinámicas de cambio, están diseñadas para responder a la preparación para el trabajo en la revolución industrial, con sociedades rígidas y estandarizadas, una sociedad que no es la actual ni la que nos espera en el futuro.

Así, diseñar experiencias que generen conocimiento en grupo y no por competencia, enseñando a pensar y no como como pensar, desde una educación mínimamente invasiva, y autoorganizada bajo procesos creativos e innovadores en el aula, centrados en dar respuesta a problemas complejos más cercanos a la realidad, es complejizar la educación.

En consecuencia, el futuro de la educación pasa por procesos autoorganizativos, ya sea en escenarios educativos como el aula o en casa mediante ambientes virtuales de aprendizaje, la complejización de la educación apuesta por el trabajo colaborativo y constante interacción social, sin dirección, ni niveles de jerarquía, así, afrontar los desafíos del presente siglo desde la creatividad e innovación en el aula, apoyada en tecnologías convergentes creando interdependencia funcional.

En síntesis, la educación puede ser vista como un sistema de complejidad creciente, y no simple y llanamente como un fenómeno centrado en la memoria y el repaso de concepto desactualizados, las instituciones educativas se deben redefinir ante los retos de siglo XXI, pasar de estructuras rígidas y estandarizadas, a organizaciones flexibles que apunten a procesos autoorganizativos que generen conocimiento desde la interacción social y no desde el aislamiento.

Dado que la educación, en todo el sentido de la palabra, se trata de crear posibilidades de y para la vida, antes que el “desarrollo” de destrezas, competencias, técnicas y contenidos teóricos; así pues, en términos de estrategias de enseñanza en ciencias, la complejidad presenta un plan de estudios integrado desde un enfoque multidimensional del proceso educativo, sin disciplinas, y basado en la investigación y aprendizaje desde problemas complejos cercanos a la realidad, que sirven como activadores de la invención humana, por ende, un fuerte contrasta entre la filosofía, la ciencias, la tecnología y la sociedad son dinamizadores del proceso educativo en ciencias, anexo a una interacción constante entre estudiante, profesor y conocimiento. Estas intrincadas interdependencias tienen la capacidad de afrontar los desafíos venideros, desde un plan de estudios basado en grandes preguntas no lineales planteadas a los estudiantes como activadores del proceso de aprendizaje.

## UN CAMINO POR RECORRER

Es indudable el desafío que presenta reconocer la complejidad implícita en el sistema educativo, trabajar con dinámicas no lineales, incertidumbre, caos, y emergencia en un aula de clase, cuando históricamente hemos tenido la tendencia al control, es “un clic” necesario ante las dinámicas cambiantes de la sociedad del conocimiento.

El trabajo con los profesores es amplio, llegar a tener “científicos del aprendizaje” como lo propone Alex Beard con la capacidad de integrar información, datos, estilos de aprendizaje, personalidades, procesos creativos e innovadores en el aula, es un enorme desafío en condiciones socioeconómicas vulnerables; el primer paso es reconocer a la educación y en particular a los profesores como la profesión del siglo XXI, dando paso a formación de calidad, un salario adecuado a su labor y autonomía para hacer su trabajo, es una decisión política, con un gran valor monetario en términos económicos, por primera vez en la historia de la humanidad el conocimiento y más precisamente una sociedad educada será fuente de grandes riquezas para una nación. El paso lo debe dar la misma sociedad.

En cuanto al comportamiento del aula como “sistema complejo adaptativo” que da mucho “camino por recorrer” las investigaciones a nivel institucional son escasas, claro, la ciencias de la complejidad están dando sus primeros avances concretos que permiten entender las redes sociales, comportamientos, y toma de decisiones, en principio con intereses de marketing y consumo; no obstante, las investigaciones de orden social deben girar en torno a una construcción colectiva del conocimiento, en marcada en procesos educativos no lineales, altos grados de autoorganización e indisciplina del conocimiento.

Así, el primer paso en la complejización de la educación es descentralizar los contenidos en marcados en disciplinas, dando paso a la construcción colectiva del conocimiento desde problemas y no desde campos teóricos, por ende, la construcción de estrategias basadas en problemas de complejidad creciente con resultados no lineales, en ocasiones sin respuesta, será el punto de partida en la complejización de la educación.

En consecuencia, pensar un currículo no lineal, enmarcado en las ciencias sociales del no equilibrio o NESS, será uno de los principales campos de investigación orientados a involucrar la emergencia en los escenarios educativos; un primer paso

en esta línea es describir los mecanismos de autoorganización del conocimiento de los estudiantes, redes de interacción y fuentes de información utilizadas en la era digital, aspectos claves en la construcción de currículos no lineales.

Otra arista serán política educativa que reconozcan la complejidad creciente de los ambientes y escenarios educativos, así, orientar la búsqueda de estrategias de intervención que posibiliten un cambio en el paradigma educativo, resalto, cambio en el paradigma, así, redefinir el aula como sistema complejo adaptativo y el aprendizaje autoorganizado son responsabilidad de los profesores y no de políticas públicas.

Finalmente, queremos dejar unas preguntas de investigación que se vienen desarrollando desde la línea de investigación “Las Ciencias de la Complejidad y el Aula – Avances, dinámicas y realidades en las ciencias” del grupo de Investigación Alternativas en la Enseñanza de las Ciencias – ALTERNACIENCIAS, como aporte a la reflexión e investigación en este campo emergente:

¿Cómo a través del estudio de los sistemas complejos adaptativos podemos llegar a entender problemas tan profundos y arraigados en los escenarios educativos como el matoneo, la deserción escolar, desmotivación, comportamientos agresivos entre otros problemas endémicos?

¿Cómo podemos lograr en el aula, el aumento en la complejidad, a partir de ambientes con reglas de interacción emergentes de manera autoorganizada que dinamicen el aprendizaje?

¿Qué dificultades están asociadas con el uso de problemas de complejidad creciente en el aula, como mecanismo de complejización?

¿Qué papel desempeñara la educación en ciencias en el siglo XXI?



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aloi, D. (2005, September 28). Cornell researchers receive \$2 million federal grant for computational social sciences project using Web archive. Retrieved May 14, 2020, from <https://news.cornell.edu/stories/2005/09/cybertools-project-receives-2-million-nsf-grant>
- Anderson, P. W. (1972). More Is Different. *Science*, 177(4047), 393–396. <https://doi.org/10.1126/science.177.4047.393>
- Bakker, C., & Montessori, N. (2016). *Complexity in Education: From Horror to Passion*. Utrecht: Sense Publishers.
- Bar-Yam, M., Rhoades, K., Booth Sweeney, L., & Kaput, J. (2002). Complex Systems Perspectives on Education and the Education System. *New England Complex Systems Institute*. Retrieved from <https://necsi.edu/changes-in-the-teaching-and-learning-process-in-a-complex-education-system>
- Bar-Yam, Y. (2004). *Making things work: solving complex problems in a complex world*. New York: Knowledge Press.
- Barrows, H. S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20(6), 481–486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x>
- Beard, A. (2019). *Otras formas de aprender: qué funciona en educación y por qué*. Madrid: Plataforma Actual.
- Beltrán-Villamizar, Y. I., Martínez-Fuentes, Y., & Vargas-Beltrán, Á. (2015). El sistema educativo colombiano en el camino hacia la inclusión. *Avances y retos. Educ. Educ*, 18(1), 62–75. <https://doi.org/10.5294/edu.2015.18.1.4>
- Benedik, C. (2019). *The Technology Trap: Capital, Labor, and Power in the Age of Automation*. Oxford: Princeton University Press.
- Benedikt Frey, C. (2019). *The Technology Trap: Capital, Labor, and Power in the Age of Automation. The Economic Record*. Oxford: Princeton.
- Benedikt Frey, C., & Osborne, M. A. (2013). The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Oxford Martin School, University of Oxford*, 72. Retrieved from [https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The\\_Future\\_of\\_Employment.pdf](https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf)
- Blindé, J. (2005). *Hacia las sociedades del conocimiento: informe mundial de la Unesco*. UNESCO. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000141908>
- Boluda López, P. (2011). *Creación de conocimiento en el aula mediante el uso de las TIC. Un estudio de caso sobre el proceso de aprendizaje*. Universidad

- Rovira I Virgili. Retrieved from <http://www.tesisenred.net/handle/10803/42936>
- Bybee, R. W. (2010). *The teaching of science : 21st century perspectives*. New York: National Science Teachers Association.
- Capra, F. (1998). *La trama de la vida, Una nueva perspectiva de los sistemas vivos. La trama de la vida*. Barcelona: Anagrama, S.A. <https://doi.org/N.D>
- Castells, M. (2005). *La Era de la Información: Economía, sociedad, y cultura* (Vol. 1). Alianza Editores.
- Christensen, C., Johnson, C., & Horn, M. (2008). *Disrupting Class: How Disruptive Innovation Will Change the Way the World Learns* (1st ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Claret Zambrano, A., Iveth Salazar, T., Candela, B. F., & Yurani Villa, L. (2017). Estado del arte de la investigación en educación en Colombia: Un caso de los programas de formación doctoral en la nación. *TED: Tecné, Episteme y Didaxis*, (41), 57–71. <https://doi.org/10.17227/01203916.6032>
- Clarke, A., & Collins, S. (2007). Complexity science and student teacher supervision. *Teaching and Teacher Education*, 23(2), 160–172. <https://doi.org/10.1016/J.TATE.2006.10.006>
- Danforth, C. M. (2013, April). Chaos in an Atmosphere Hanging on a Wall. Retrieved May 16, 2020, from <http://mpe.dimacs.rutgers.edu/2013/03/17/chaos-in-an-atmosphere-hanging-on-a-wall/>
- De Domenico, M., Brockmann, D., Camargo, C., Gershenson, C., Goldsmith, D., Jeschonnek, S., ... Sayama, H. (2019). Complexity Explained, 1–20. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/TQGNW>
- DeChurch, L. A., & Mesmer Magnus, J. R. (2010). The Cognitive Underpinnings of Effective Teamwork: A Meta-Analysis. *Journal of Applied Psychology*, 95(1), 32–53. <https://doi.org/10.1037/a0017328>
- Delval, J. (2013). La escuela para el siglo XXI. *Sinéctica*, (40), 1–18. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-109X2013000100004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-109X2013000100004)
- Dimate Rodriguez, C. (2007). La educación como objeto de interés para las ciencias de la complejidad. *Folios*, 2(26), 83–91.
- Érdi, P. (2008). *Complexity explained. Springer; Edición*. Heidelberg: Springer, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-35778-0>
- Fahim, M., & Abbasi Talabari, F. (2014). Chaos/Complexity Theory and Education Mansour Fahim. *Journal of English Language Teaching and Learning*, (13), 43–56. Retrieved from <http://www.inclusional-research.org/comparisons4.php>

- Gaenza Chávez, A. D. (2018). Respondiendo a los problemas complejos de las ciudades. *Economía Creativa*, (10), 126–146. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6808643>
- García Sevilla, J. (2008). *El aprendizaje basado en problemas en la enseñanza universitaria*. Barcelona: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=353692>
- Gershenson, C., & Heylighen, F. (2005). How can we think the complex? In K. Richardson (Ed.), *Managing the Complex* (Vol. 1, pp. 47–62). Philosophy, Theory and Application. (Institute for the Study of Coherence and Emergence/Information Age Publishing).
- Goldenfeld, N., & Kadanoff, L. P. (1999). Simple Lessons from Complexity. *Sciencemag*, 284, 87–89. Retrieved from [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)
- Golinkoff, R. M., & Hirsh-Pasek, K. (2016). *Becoming brilliant: what science tells us about raising successful children* (1st ed.). Filadelfia: American Psychological Association (APA).
- Gorbalenya, A. E., Baker, S. C., Baric, R. S., de Groot, R. J., Drosten, C., Gulyaeva, A. A., ... Ziebuhr, J. (2020, April 1). The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nature Microbiology*. Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41564-020-0695-z>
- Gutiérrez Campos, L. (2012). Conectivismo como teoría de aprendizaje: conceptos, ideas, y posibles limitaciones. *Connectivism as a learning theory: Concepts, Ideas, and possible limitations*. *Revista Educación y Tecnología*, 1, 111–122.
- Hamdan, S. (2013, November 10). Children Thrive in Rural Colombia's Flexible Schools. Retrieved May 19, 2020, from <https://www.nytimes.com/2013/11/11/world/americas/children-thrive-in-rural-colombias-flexible-schools.html>
- Harari, Y. N. (2014). *De animales a dioses: breve historia de la humanidad*. (J. Ros, Ed.) (Primera). Bogotá: Debate.
- Harari, Y. N. (2018). *21 lecciones para el siglo XXI. Veintiún lecciones para el siglo XXI*. Madrid: Debate.
- Harlen, W. (Ed.). (2010). *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias*. Buenos Aires: Ashford Colour Press Ltd. Retrieved from [www.ase.org.uk](http://www.ase.org.uk)
- Hederich Martínez, C., López Vargas, O., Hernández Barrios, A., Drachman, R., De Groot, R., Sanabria Rodríguez, L. B., ... Gamboa Sarmiento, S. C. (2014). *Educación y Tecnologías de la Información y la Comunicación*. (Angela Camargo, Ed.). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, Doctorado Interinstitucional en Educación. DIE. Retrieved from

[http://editorial.pedagogica.edu.co/docs/files/catedra 3 baja.pdf](http://editorial.pedagogica.edu.co/docs/files/catedra%203%20baja.pdf)

- Heylighen, F. (2002). The Science of Self-organization and Adaptivity. In L. D. Kiel (Ed.), *Knowledge Management, Organizational Intelligence and Learning, and Complexity*. Oxford: The Encyclopedia of Life Support Systems ((EOLSS). Retrieved from <http://www.eolss.net>
- Heylighen, F., Cilliers, P., & Gershenson, C. (2006). Complexity and Philosophy. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/cs/0604072>
- Hung, W. (2013). Team-based complex problem solving: a collective cognition perspective. *Educational Technology Research and Development*, 61(3), 365–384. <https://doi.org/10.1007/s11423-013-9296-3>
- Jackson, M. O. (2019). *The human network : how your social position determines your power, beliefs, and behaviors*. New York: Pantheon.
- Kauffman, S. A. (1995). *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. New York: Oxford University Press.
- Khan, S. (2011, March). Usemos el video para reinventar la educación | TED Talk. *TED*. Retrieved from [https://www.ted.com/talks/sal\\_khan\\_let\\_s\\_use\\_video\\_to\\_reinvent\\_education?language=es](https://www.ted.com/talks/sal_khan_let_s_use_video_to_reinvent_education?language=es)
- Khan, S. (2019). *La escuela del mundo : una revolución educativa*. Madrid: Planeta.
- Kraaijenbrink, J. (2019). Strategy In A Complex World. Retrieved May 18, 2020, from <https://www.forbes.com/sites/jeroenkraaijenbrink/2019/02/05/strategy-in-a-complex-world/#5c539cc41e39>
- Kumpula, J. M., Onnela, J. P., Saramäki, J., Kaski, K., & Kertész, J. (2007). Emergence of communities in weighted networks. *Physical Review Letters*, 99(22), 228701. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.99.228701>
- Lederman, N. G., Lederman, J. S., & Antink, A. (2013). Nature of Science and Scientific Inquiry as Contexts for the Learning of Science and Achievement of Scientific Literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), 138–147. Retrieved from [www.ijemst.com](http://www.ijemst.com)
- Liu, D., Bhagat, K. K., Gao, Y., Chang, T.-W., & Huang, R. (2017). *The Potentials and Trends of Virtual Reality in Education* (Primera). Singapur: Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7_7)
- Lo, C. K. (2018). Grounding the flipped classroom approach in the foundations of educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 66(3), 793–811. <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9578-x>
- Madonado, C. E. (2014). ¿Qué es eso de pedagogía y educación en complejidad? *Intersticios Sociales*, (7), 1–23.

- Maldonado, C. E. (1999). Esbozo de una filosofía de la lógica de la complejidad. In *Visiones sobre la complejidad (2º)*. Bogotá: Colección "Filosofía y Ciencia" Editor, y coautor.
- Maldonado, C. E. (2005). Ciencias de la complejidad: ciencias de cambios súbitos. *Odeón*, 2(1), 85–125. Retrieved from <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/odeon/article/view/2643>
- Maldonado, C. E. (2007). Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicaciones. *Universidad Externado de Colombia*, 101–132.
- Maldonado, C. E. (2015). Pensar la complejidad, pensar como síntesis. *Cinta Moebio*, 54, 313–324. Retrieved from [www.moebio.uchile.cl/54/maldonado.html313](http://www.moebio.uchile.cl/54/maldonado.html313)
- Maldonado, C. E., & Gómez Cruz, N. A. (2010). *El mundo de las ciencias de la complejidad: un estado del arte. Documentos de administración* (Primera). Bogotá: Editorial Universidad del Rosario.
- Martínez Pérez, L. F., & Parga Lozano, D. (2018). *Aportes investigativos para la Enseñanza de las Ciencias y el Conocimiento Didáctico del Profesor* (Primera). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, CIUP.
- Mashkov, Y. K. (2017). Nanostructural Self-Organization and Dynamic Adaptation of Metal – Polymer Tribosystems, 62(2), 282–286. <https://doi.org/10.1134/S1063784217020190>
- Masuda, Y. (1984). *La sociedad informatizada :como sociedad post-industrial. Hermes (Tecnos)* (1st ed.). Tecnos.
- Matsugo, S., & Kanamori, K. (2011). Chemical oscillation of vanadium complexes: Simple and aperiodic systems. *Coordination Chemistry Reviews*, 255(19–20), 2388–2397. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2011.01.053>
- Maturana, H., & Varela, F. (1998). The Tree of Knowledge: the Biological Roots of Human Understanding. MA: *Shambhala*, 33–89.
- Mennin, S. (2010). Self-organisation, integration and curriculum in the complex world of medical education. *Medical Education*, 44(1), 20–30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03548.x>
- Mitra, S., & Dangwal, R. (2010). Limits to self-organising systems of learning—the Kalikuppam experiment \_1077 672..688, 41(5), 672–689. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2010.01077.x>
- Mitra, S., & Hattie, J. (2019). *The school in the cloud : the emerging future of learning*. London: Corwin.
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro* (Primera). Paris: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la

Ciencia y la Cultura.

- Navarro-Cid, J. (2001). *Las organizaciones como sistemas abiertos alejados del equilibrio*. Universidad de Barcelona. <https://doi.org/10.13140/2.1.3858.5927>
- Norman, G. (2011). Chaos, complexity and complicatedness: lessons from rocket science. *Medical Education*, 45(6), 549–559. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2011.03945.x>
- Nowak, M. A. (2012). *Supercooperadores*. (R. Highfield, Ed.). Madrid: S.A. EDICIONES B.
- OREALC/UNESCO. (2013). *Situación Educativa de América Latina y el Caribe: Hacia la educación de calidad para todos al 2015*. Santiago. Retrieved from <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Santiago/images/SI TIED-espanol.pdf>
- Pagels, H. (1991). *Los sueños de la razón: el ordenador y los nuevos horizontes de las ciencias de la complejidad*. Barcelona: Gedisa.
- Pighi Bel, P. (2016, June 10). Cómo es 42, la universidad francesa de tecnología que no tiene profesores. Retrieved May 19, 2020, from <https://www.bbc.com/mundo/noticias-36474360>
- Pirela Morillo, J. (2007). Las tendencias educativas del siglo XXI y el currículo de las escuelas de Bibliotecología. *Investigación Bibliotecológica*, 21(43), 73–105. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22201/iibi.0187358xp.2007.43.4127>
- Prigogine, I. (1993). *El Nacimiento del Tiempo*. Barcelona: Tusquets Editores, S.A.
- Prigogine, I. (2004). ¿Qué es lo que no sabemos? *Educere*, 36(47), 301–308. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Prigogine, I., & Stengers, I. (1990). *La nouvelle alliance - Métamorphose de la science* (Segunda). Madrid: Alianza Editorial, S.A.
- Rivas, A. (2014). *Revivir las aulas: Un libro para cambiar la educación*. Buenos Aires: Debate.
- Rivas, A. (2017). *Cambio e innovación educativa: las cuestiones cruciales* (1st ed.). Buenos Aires: XII Foro Latinoamericano de Educación.
- Robinson, K. (2015). *Escuelas creativas: La revolución que está transformando la educación* (1st ed.). Buenos Aires: GRIJALBO.
- Salas, E., & Fiore, S. M. (2004). *Team cognition: Understanding the factors that drive process and performance*. Washington: American Psychological Association. Retrieved from <https://www.apa.org/pubs/books/4316028?tab=1>
- Salcedo Torres, L. E., Villarreal Hernández, M. E., Zapata Castañeda, P. N., Colmenares Gulumá, E., García Barco, M. C., & Moreno Romero, S. P. (2007).

- Tecnologías de la Información y la Comunicación en educación química* (Primera). Bogotá: Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Schrödinger, E. (1944). *¿Qué es la Vida?* (R. Guerrero, Ed.) (Primera). Barcelona: Tusquets Editores, S.A.
- Schwab, K. (2016). *La Cuarta revolución industrial*. Madrid: Debate.
- Siemens, G. (2004). Connectivism: A learning theory for the digital age. *Trad. Leal Fonseca, Diego*, 1–10. Retrieved from <http://clasicas.filos.unam.mx/files/2014/03/Conectivismo.pdf>
- Slayback, Z. (2016). *The End of School: Reclaiming Education from the Classroom*. Remnant Publishing .
- TEDsters. (2007, March). Murray Gell-Mann: Beauty, truth and ... physics? | TED Talk. Retrieved from [https://www.ted.com/talks/murray\\_gell\\_mann\\_beauty\\_truth\\_and\\_physics?language=mr](https://www.ted.com/talks/murray_gell_mann_beauty_truth_and_physics?language=mr)
- Tomasello, M. (2014). *A natural history of human thinking*. Cambridge: Harvard University Press.
- UNESCO. (2016). *Aportes para la enseñanza de las ciencias naturales*. Santiago de Chile. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244733>
- Von Bertalanffy, L. (1969). *General System Theory. Foundations, development, applications*. New York: George Braziller.
- Von Foerster, H. (2003). Cybernetics of Cybernetics. In *Understanding Understanding* (pp. 283–286). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/0-387-21722-3\\_13](https://doi.org/10.1007/0-387-21722-3_13)
- Weaver, W. (1948). Science and Complexity. *American Scientist*, 36(536), 1–11. Retrieved from <http://www.ceptualinstitute.com/genre/weaver/weaver-1947b.htm>
- Winsberg, E. (2001). Simulations, Models and Theories: Complex Physical Systems and their Representations. *Philosophy of Science*, 68(3), 442–454.
- Yaneer, B.-Y. (1997). *Dynamics of Complex Systems*. Boulder: West- view Press.
- Zambrano Farías, F. J. (2017). Sociedad del Conocimiento y las TEPs. *INNOVA Research Journal*, 2(10), 169–177.
- Zwirn, H. (2003, December 1). La complexité, science du XXI siècle ? . Retrieved May 14, 2020, from <https://www.pourlascience.fr/sd/sciences-sociales/la-complexite-science-du-span-styletext-transform-uppercasexxispansupesup-siecle-5326.php>

ANEXOS

ANEXO A

*Avances en investigación en Ciencias de la Complejidad*

Instituto/grupo de investigación	Proyecto	Observación	Referencia
American Physical Society	Emergence of Communities in Weighted Networks	Modelo de red dinámico diseñado para capturar la aparición de estructuras comunitarias, heterogeneidades y grupos que se observan con frecuencia en las redes sociales.	Kumpula, J. M., Onnela, J. P., Saramäki, J., Kaski, K., & Kertész, J. (2007). Emergence of communities in weighted networks. <i>Physical Review Letters</i> , 99(22), 228701. <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.99.228701">https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.99.228701</a>
Springer Complexity: Understanding Complex Systems	Non-Equilibrium Social Science and Policy: Introduction and Essays on New and Changing Paradigms in Socio-Economic Thinking	En este modelo, no solo evoluciona la conectividad sino también la fuerza de los enlaces entre nodos. Hoja de ruta para futuras investigaciones en NESS, desde modelos realistas del comportamiento de los agentes, sistemas multinivel, informática de políticas, narrativas bajo incertidumbre, y validación de los modelos de sistemas complejos basados en agentes.	Johnson, J., Nowak, A., Ormerod, P., Rosewell, B., & Yi-Cheng, Z. (2017). <i>Non-Equilibrium Social Science and Policy</i> . London: Springer International Publishing.
Center for Complex Systems Research	In Sync: The emergence of function in minds, groups and societies	Se analiza el concepto de sincronización funcional y diferentes niveles en sistemas psicológicos y sociales, desde la	Nowak, A., Vallacher, R. R., Praszkiel, R., Rychwalska, A., & Żochowski, M. (2020). In sync: The emergence of function in



Innovative Solutions for Sustainable Supply Chains	Innovative Solutions for Sustainable Supply Chains	aparición del pensamiento hasta la formación de las relaciones sociales y la estructura de las sociedades. Modelos, herramientas, técnicas y soluciones orientadas a la toma de decisiones en cadenas de suministro sostenibles, como una tarea compleja y dinámica.	minds, groups and societies (1st ed.). Springer.
European Complex Systems Society	Simulating Social Complexity	Se examinan los aspectos del uso de agentes y simulaciones individuales. Este enfoque representa los sistemas como elementos individuales que tienen su propio conjunto de estados y procesos internos diferentes. Lo que hace que esto sea "social" es que puede representar una sociedad observada.	Qudrat-Ullah, H. (Ed.). (2018). Innovative Solutions for Sustainable Supply Chains (1st ed.). Cham: Springer International Publishing. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-94322-0">https://doi.org/10.1007/978-3-319-94322-0</a> Edmonds, B., & Meyer, R. (Eds.). (2017). Simulating Social Complexity (2nd ed.). Cham: Springer International Publishing. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-66948-9">https://doi.org/10.1007/978-3-319-66948-9</a>
Ciencias de la Complejidad en la Universidad de Strathclyde	Complexity in Computational Chemistry	Se describe el estado actual del análisis de complejidad en química; con áreas como complejidad molecular y sus implicaciones en el diseño molecular, QSAR, QSPR, evolución molecular, y el desarrollo en campos interdisciplinarios.	Estrada, E. (Ed.). (2022). Complexity in Computational Chemistry (1st ed.). New York: Springer.
Center for Complex Systems Studies	Maximum-Entropy Networks	Aplicación de los modelos de máxima entropía de gráficos aleatorios con propiedades topológicas en el estudio de las	Squartini, T., & Garlaschelli, D. (2017). Maximum-Entropy Networks (1st ed.). Springer International Publishing.

<p>Institut de recherche en Systèmes Complexes de l'UMONS</p>	<p>COMOD (FWB/ARC)</p>	<p>redes reales y la teoría de grafos dentro del marco unificado de máxima entropía. En el proyecto se estudia la "ciudad compacta" utilizando la teoría de grafos, desde el ángulo de la teoría de juegos, los problemas relacionados con el arbitraje y diferentes criterios relacionados con ello.</p>	<p><a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-69438-2">https://doi.org/10.1007/978-3-319-69438-2</a> <a href="https://web.umons.ac.be/complexys/fr/projets-phare/comod-arc/">https://web.umons.ac.be/complexys/fr/projets-phare/comod-arc/</a></p>
	<p>A systematic approach to analyze the social determinants of cardiovascular disease</p>	<p>Se aplican precios de emergencia y minería de datos para conocer las causas de las enfermedades cardiovasculares (ECV).</p>	<p>Martínez-García, M., Salinas-Ortega, M., Estrada-Arriaga, I., Hernández-Lemus, E., García-Herrera, R., &amp; Vallejo, M. (2018). A systematic approach to analyze the social determinants of cardiovascular disease. PLOS ONE, 13(1). <a href="https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190960">https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190960</a></p>
<p>Centro de Ciencias de la Complejidad C3 - UNAM</p>	<p>Horizontal transfer of code fragments between protocells can explain the origins of the genetic code without vertical descent</p>	<p>Sistemas complejos aplicados a las teorías sobre el origen del código genético suelen apelar a la selección natural y/o a la mutación de rasgos heredables para explicar sus regularidades y la robustez de los errores.</p>	<p>Froese, T., Campos, J. I., Fujishima, K., Kiga, D., &amp; Virgo, N. (2018). Horizontal transfer of code fragments between protocells can explain the origins of the genetic code without vertical descent OPEN. Scientific Reports, 8. <a href="https://doi.org/10.1038/s41598-018-21973-y">https://doi.org/10.1038/s41598-018-21973-y</a> <a href="https://www.c3.unam.mx/comboletines.html">https://www.c3.unam.mx/comboletines.html</a></p>
		<p>Ciudades autoorganizadas: el orden del caos, nueva herramienta</p>	

New England Complex  
Systems Institute

Preliminary steps toward a universal economic dynamic for monetary and fiscal policy	para conocer la salud de los ecosistemas, estética de la vida, y fractales. Se considera la relación entre la actividad económica y la intervención, incluida la política monetaria y fiscal, desde un enfoque emergente y modelos adaptativos.	Yaneer Bar-Yam, Jean Langlois-Meurinne, Mari Kawakatsu, and Rodolfo Garcia, Preliminary steps toward a universal economic dynamic for monetary and fiscal policy, arXiv:1710.06285 (October 10, 2017; Updated December 29, 2017).
An introduction to complex systems science and its applications	Los principios básicos de la CC y perfiles de complejidad, eficiencia y adaptabilidad determinan la complejidad de los sistemas con la de sus entornos, se hace un análisis a múltiples escalas y los procesos evolutivos.	Alexander F. Siegenfeld and Yaneer Bar-Yam, An introduction to complex systems science and its applications, arXiv:1912.05088 (December 11, 2019).
Segregation and polarization in urban areas	Los comportamientos sociales surgen del intercambio de información entre individuos, restringidos e influyendo recíprocamente en la estructura de los flujos de información.	Alfredo J. Morales, Xiaowen Dong, Yaneer Bar-Yam and Alex 'Sandy' Pentland, Segregation and polarization in urban areas, Royal Society Open Science 6(10): 190573 (October 23, 2019).
Special operations forces: A global immune system?	Se hace una comprensión científica del uso de fuerzas de operaciones especiales (SOF) en la lucha de guerra y los esfuerzos de mantenimiento de la paz.	Joseph Norman and Yaneer Bar-Yam, Special operations forces: A global immune system? in Unifying Themes in Complex Systems IX, A.J. Morales, C. Gershenson, D.

he Institute for the Study of  
Complex Systems (ISCS)

From Complexity to Life:  
The Emergence of Life  
and Meaning

Las CC aplicadas al estudio de la  
biología y emergencia evolutiva.

Una reflexión sobre la complejidad  
a la vida, el surgimiento de la vida y  
significado.

Braha, A.A. Minai, Y. Bar-Yam,  
Eds. (Springer, July 23, 2018).

Revisión de Robert GB Reid,  
Biological Emergence: Evolution  
by Natural Experiment (2007).  
Emergencia: Complejidad y  
Organización, 10 (2): 129-135  
(2008).

Review of Niels H. Gregerson,  
From Complexity to Life: The  
Emergence of Life and Meaning,  
(2004) Technological  
Forecasting and Social Change,  
71(1): 765 (2004).

The Bioeconomics of  
Homogeneous  
Middlemen

La bioeconomía de los  
intermediarios homogéneos es un  
campo reciente de aplicación.

Commentary: On Janet Landa,  
“The Bioeconomics of  
Homogeneous Middlemen...”  
(2008). Journal of  
Bioeconomics, 10(3): 291-292.

Self-Propulsion of  
Active Colloids via Ion  
Release: Theory and  
Experiments. Physical  
Review Letters,

La química fundamental, aplica  
conceptos de las CC en la  
autopropulsión de coloides activos  
a través de la liberación de iones.

De Corato, M., Arqué, X., Patinõ,  
T., Arroyo, M., Sánchez, S., &  
Pagonabarraga, I. (2020). Self-  
Propulsion of Active Colloids via  
Ion Release: Theory and  
Experiments. Physical Review  
Letters, 124(10), 108001.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.108001>

Institute of Complex Systems

A multilevel analytical  
framework for studying  
cultural evolution in

Un marco analítico multinivel para  
estudiar la evolución cultural en  
sociedades prehistóricas de

A multilevel analytical framework  
for studying cultural evolution in

prehistoric hunter-gatherer societies

cazadores-recolectores, desde sus procesos de adaptación.

prehistoric hunter-gatherer societies

Romano, V; Lozano, S; de Pablo, JFL

BIOLOGICAL REVIEWS (2020)

Neurofunctional activation patterns reflect differences in cognitive control associated with spelling skills in Spanish

Los patrones de activación neurofuncional reflejan diferencias en el control cognitivo asociado con las habilidades de ortografía en español, el lenguaje como representación de la sociedad.

Neurofunctional activation patterns reflect differences in cognitive control associated with spelling skills in Spanish

Martínez-Ramos, A., Gómez-Velázquez, F. R., Peró-Cebollero, M., González-Garrido, A. A., Guàrdia-Olmos, J., Gudayol-Ferré, E., & Gallardo-Moreno, G. B.

Rev Mex Neuroci, 20 5 (2019).

<https://www.santafe.edu/research/projects>

El centro de investigación estudia sistemas complejos en áreas tan diversas como la jurisprudencia, inteligencia artificial, dinámica poblacional, emergencia en sociedades complejas, evolución, Big Data, ciencias de la vida, entre otros campos.

Santa Fe Institute

---

**Nota:** La información se recolecto en las bases de datos, Scopus, Web of Science y el Directory of Open Access Journals – DOAJ.

## ANEXO B

### *Avances en investigación en educación para el siglo XXI*

<b>Proyecto</b>	<b>Observación</b>	<b>Referencia</b>
Disrupting Class: How Disruptive Innovation Will Change the Way the World Learns	Desde la información la red ser organizan las estrategias educativas en el aula de clase, recibiendo lecciones de los mejores profesores del mundo y plataformas desde casa.	Christensen, C., Johnson, C., & Horn, M. (2008). <i>Disrupting Class: How Disruptive Innovation Will Change the Way the World Learns</i> (1st ed.). New York: McGraw-Hill Education.
The School in the Cloud: The Emerging Future of Learning	El aprendizaje en la nube es una posibilidad para el aprendizaje personalizado y autoorganizado.	Mitra, S., & Hattie, J. (2019). <i>The school in the cloud: the emerging future of learning</i> . London: Corwin
Unschooling rules: 55 ways to unlearn what we know about schools and rediscover education	Su manifiesto antiescuela propone 55 reglas para desescolarizarnos y comenzar a aprender por nuestras propias posibilidades.	Aldrich, C. (2011). <i>Unschooling rules: 55 ways to unlearn what we know about schools and rediscover education</i> . Austin, Texas: Greenleaf Book Group
El Hueco en la pared: Sistemas auto-organizados en la educación	Sugata Mitra llevó el experimento de la desescolarización a los lugares más pobres del planeta. Desde su proyecto “un agujero en la pared”, dio los primeros pasos hacia el aprendizaje autoorganizado.	Mitra, S. (2013) <i>El Hueco en la pared: Sistemas auto-organizados en la educación</i> . Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Editorial Fedum
The End of School: Reclaiming Education from the Classroom	Slayback propone un aprendizaje fuera del sistema educativo, desde las personalidades del estudiante.	Slayback, Z. (2016). <i>The End of School: Reclaiming Education from the Classroom</i> . Remnant Publishing.
The Association for Science Education: Talking and Doing Science in the Early Years. A practical guide for ages 2-7	Los niños pequeños son científicos intuitivos y emergentes, la exploración del mundo	Tunncliffe, S. D. (2013). <i>Talking and doing science in the early</i>

The Association for Science Education: Starting Inquiry-based Science in the Early Years. Look, talk, think and do	<p>permite el desarrollo temprano hacia las habilidades en el siglo XXI.</p> <p>La curiosidad inherente y resolución de problemas a medida que avanzan en su pensamiento científico, como principios de la educación en ciencias para el siglo XXI.</p>	<p>years: a practical guide for ages 2-7. London: Routledge</p> <p>Tunnicliffe, S. D. (2015). Starting inquiry-based science in the early years: look, talk, think and do. London: Routledge.</p>
Iberciencia - Contenedores	<p>Siete lugares en los que encontrar contenidos educativos sobre ciencia, tecnología y sociedad. Decenas de materiales didácticos en cada uno de ellos.</p>	<p><a href="http://ibercienciaoei.org/contenedores/">http://ibercienciaoei.org/contenedores/</a></p>
Profuturo – Fundación Telefonica	<p>Contenidos digitales, acordes con las necesidades de aprendizaje de los niños, se utilizan conocimiento de frontera.</p>	<p><a href="https://solution.profuturo.education">https://solution.profuturo.education</a></p>
Rocketship Education	<p>Utiliza softwares inteligentes en un ambiente de aprendizaje programados, así, logran un aprendizaje personalizados, y desarrollo de habilidades.</p>	<p><a href="https://www.rocketshipschools.org/">https://www.rocketshipschools.org/</a></p>

---

**Nota:** La información se recolecto en las bases de datos, Scopus, Education Research Complete, Google Académico.

## ANEXO C

### *Avances en investigación en educación y ciencias de la complejidad*

<b>Proyecto</b>	<b>Observación</b>	<b>Referencia</b>
Flipped Learning in Finland	La práctica y la teoría del aprendizaje invertido en el sistema escolar finlandés Flipped Learning, ofrece una introducción a los conceptos, antecedentes teóricos e implementación práctica del aprendizaje invertido. Con grados de libertad y procesos de emergencia.	Toivola, M., Peura, P., & Humaloja, M. (2020). Flipped Learning in Finland. Edita.
Making Things Work. Solving Complex Problems in A Complex World Complexity and Education	Utilizar problemas complejos en educación para aprender ciencias en un mundo complejo. Avances en investigación en camino a la complejización de la educación, desde la emergencia y adaptación del aula.	Bar-Yam, Y. (2004). Making Things Work. Solving Complex Problems in A Complex World. NECSI-Knowledge Press Brent Davis y Dennis Sumara. Complexity and Education. Inquiries into Learning, Teaching, and Research. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2006
Engaging Minds: Changing Teaching in Complex Times Complexity Theory and the Politics of Education	En tiempos de complejidad, los profesores son los responsables de crear escenarios de aprendizaje no lineales. El cambio paradigmático en la educación pasa por políticas públicas, se presenta un boso de cómo se verían políticas públicas no lineales.	Brent Davis, Dennis Sumara y Rebeca Luce-Kapler. Engaging Minds: Changing Teaching in Complex Times. Londres: Routledge, 2007 Deborah Osberg y Gert Biesta (eds.). Complexity Theory and the Politics of Education. Róterdam: Sense Publishers, 2010.
The Potentials and Trends of Virtual Reality in Education	La tecnología emergente es un mecanismo de inclusión en el aula, reconociendo las personalidades como eje estructurante del proceso educativo.	Liu, D., Bhagat, K. K., Gao, Y., Chang, T.-W., & Huang, R. (2017). The Potentials and Trends of Virtual Reality in Education (Primera). Singapur: Springer, Singapur. <a href="https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7_7">https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7_7</a>



Chaos, Complexity, Curriculum, and Culture	Un currículo no lineal, enfocado al caos y diversidad cultural.	William E. Doll et al. (eds.). Chaos, Complexity, Curriculum, and Culture. Nueva York: Peter Lang Publishing, 2006
Avances en Complejidad y Educación: Teoría y Práctica.	Experiencias desde la emergencia en el aula de ciencias.	Canal Martínez, M. E., Cid Reborido, A., Colom Cañellas, A., Ferrero Cerveró, V., Guillaumin Tostado, A., Guitiérrez Pérez, F., ... Vez Jeremías, J. M. (2006). Avances en Complejidad y Educación: Teoría y Práctica. (M. A. Santos Rego & A. Guillaumin Tostado, Eds.) (Primera). Barcelona: Octaedro, S.L. Retrieved from <a href="http://www.ed1torialjuventud.com.mx">www.ed1torialjuventud.com.mx</a>
Educación y Caos	Desarrollo de la pedagogía del caos.	Moreno, A. (2016). Educación y Caos (Primera). Santiago de Chile: Ediciones de la Junji.
Diverse Effects, Complex Causes: Children Use Information About Machines' Functional Diversity to Infer Internal Complexity	Se identifican mecanismos de diversidad cultural con diferentes efectos desde la complejidad que brinda internet.	Ahl, R. E., & Keil, F. C. (2017). Diverse Effects, Complex Causes: Children Use Information About Machines' Functional Diversity to Infer Internal Complexity. <i>Child Development</i> , 88(3), 828–845. <a href="https://doi.org/10.1111/cdev.12613">https://doi.org/10.1111/cdev.12613</a>
Connectivism: Learning theory of the future or vestige of the past?	El aprendizaje desde la teoría del conectivismo plasma la importancia de la información en red, liberando espacio y tiempo en el aula para la creatividad.	Kop, R., & Hill, A. (2008). Connectivism: Learning theory of the future or vestige of the past? <i>International Review of Research in Open and Distance Learning</i> , 9(3), 1–13. <a href="https://doi.org/https://doi.org/10.19173/irrodl.v9i3.523">https://doi.org/https://doi.org/10.19173/irrodl.v9i3.523</a>
Educación compleja: Indisciplinar la sociedad	Una reflexión sobre la complejidad, educación y sociedades del conocimiento.	Maldonado, C. E. (2017). Educación compleja: Indisciplinar la sociedad. <i>Educación y Humanismo</i> , 19(33), 234–252. <a href="https://doi.org/10.17081/eduhum.19.33.2642">https://doi.org/10.17081/eduhum.19.33.2642</a>
Self-organisation, integration and curriculum in the complex world of medical education	Experiencias en procesos de aprendizaje autoorganizados en educación en medicina.	Mennin, S. (2010). Self-organisation, integration and curriculum in the complex world of medical education. <i>Medical Education</i> , 44(1), 20–30. <a href="https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03548.x">https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03548.x</a>

Complex Education Systems: from steering change to governance	Se definen las características del sistema educativo complejo.	Michel, A. (2016). Complex Education Systems: from steering change to governance. <i>European Journal of Education</i> , 51(4), 513–521. <a href="https://doi.org/10.1111/ejed.12186">https://doi.org/10.1111/ejed.12186</a>
Schools and Complexity	Experiencias de emergencia en educación primaria.	Trombly, C. E. (2014). Schools and Complexity. <i>Complicity: An International Journal of Complexity and Education</i> , 11(2), 40–58. <a href="https://doi.org/10.29173/cmplct19017">https://doi.org/10.29173/cmplct19017</a> <a href="https://necsi.edu/education">https://necsi.edu/education</a>
New england complex systems institute for education	La investigación educativa de NECSI proporciona información sobre cómo mejorar la enseñanza y el aprendizaje y encontrar una estructura escolar más efectiva, y cómo la creatividad, las diferencias individuales y los diversos modos de aprendizaje desde sistemas complejos.	

---

**Nota:** La información se recolecto en las bases de datos, Scopus, Education Research Complete, Google Académico