

MODELADO MATEMÁTICO EN LA EDUCACIÓN PARA COMPRENDER

FECHA DE RECEPCIÓN: 17-12-24 / FECHA DE ACEPTACIÓN: 12-05-25

Mauro Montealegre Cárdenas

PH.D. MATEMÁTICAS Y PROFESOR TITULAR USCO

Correo electrónico: mmonteal@usco.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1577-5971>

Joan Manuel Montealegre Hermosa

Mg. INGENIERÍA AMBIENTAL Y PROYECTO ONDAS MINTIC USCO

Correo electrónico: joan.montealegre@usco.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6956-3783>

Jasmidt Vera Cuenca

DOCTORADO COMPLEJIDAD Y PROFESORA TITULAR USCO

Correo electrónico: jasmidt.vera@usco.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8965-0661>

RESUMEN

Desde las ciencias de la complejidad el modelado matemático en los procesos educativos privilegia la inteligencia emocional para comprensión y la autoestima; reconocen inestabilidades, aberturas, indeterminaciones y coevoluciones; identifican propiedades emergentes con estructuras autonómicas como “rizomas” o “fractales”, rupturas, fluctuaciones y (De)construcciones; evidencian incertidumbres auto organizativas, entre flexibilidad y plasticidad cognitivas, que contribuyen al aprendizaje para la comprensión.

Palabras clave: Ciencias de la Complejidad, aprendizaje comprensivo, redes complejas, incertidumbres lejos del equilibrio, auto organización adaptativa, modelos bioinspirados, currículos no lineales.

ABSTRACT

From the standpoint of complexity science, mathematical modeling in educational processes prioritizes emotional intelligence for understanding and self-esteem; it acknowledges instabilities, openings, indeterminacies, and co-evolutions; it identifies emergent properties with self-organizing structures such as “rhizomes” or “fractals,” along with ruptures, fluctuations, and (de)constructions; and it highlights self-organizing uncertainties—between cognitive flexibility and plasticity—that foster learning for understanding.

Keywords: Complexity Science, understanding-oriented learning, complex networks, far-from-equilibrium uncertainties, adaptive self-organization, bio-inspired models, nonlinear curricula.

1. INTRODUCCIÓN

Las ciencias de la complejidad son ciencias de la vida, Maldonado¹ (2021). Más exactamente, de la vida tal y como la conocemos y tal y como podría ser posible. Los sistemas vivos se caracterizan por su capacidad de creatividad y aprendizaje incesante. Más exactamente, se trata de fenómenos, sistemas y comportamientos de complejidad creciente, auto organizativos y con emergencias evolutivas, libres de escala y factibles de simulaciones, Maldonado y Gómez², (2018). Las ciencias de la complejidad se interesan por fenómenos y sistemas irreversibles, indeterminados, inestables, inciertos e interdefinibles; naturaleza y cultura.

En este contexto los aprendizajes deben vincular, en todos los ambientes, las motivaciones legítimas para la vida de las personas e incentivar su complejidad comprensiva, Montealegre M. y Vera J.³ (2022). Esto en contravía del reduccionismo memorístico que hoy tienen en crisis estos procesos, resultados de las Pruebas Pisa 2022⁴.

Los ámbitos de la pedagogía comprensiva son interdisciplinarios, Piaget J. y García R.⁵(1982), y favorecen procesos irreversibles, indeterminados, interdefinibles y en procura de hallazgos sorprendentes, creando capacidades desequilibrantes lejos del equilibrio, Maldonado, C. E.⁶ (2014).

1 Maldonado, Carlos (2021). Las Ciencias de la Complejidad son Ciencias de la vida. Trepén Ediciones, Chile.

2 Maldonado, Carlos y Gómez, Nelson (2018) El Mundo de las Ciencias de la Complejidad

3 Montealegre M. y Vera J. (2022). Hacia la Pedagogía de la Complejidad. Revista Ciencias de la Complejidad.

4 Men Colombia, Pruebas PISA 2022: Colombia, un sistema educativo resiliente que requiere cambios estructurales para mejorar su calidad

5 Piaget J. y García R. (1982) Psicogénesis e Historia de la Ciencia, Siglo XXI

6 Maldonado, C. E. (2014). ¿Qué es eso de pedagogía y educación en complejidad? Debate Teórico-Metodológico, 1,

En esta vía el modelado matemático bioinspirado basado en agentes, Mitchell. M.⁷ (2012), trascienden las representaciones de las fronteras borrosas de fenómenos sociales y naturales, soporta indagaciones retadoras entre habilidades lingüísticas y pensamiento matemático computacional, por ejemplo, con fractales o autómatas. Los métodos del aprendizaje comprensivo se involucran con redes complejas que interactúan de abajo hacia arriba y expresan interdependencias entre lo socio, tecno y cultural, Reynoso, C.⁸ (2011).

Esto invita al ejercicio de currículos no lineales, adaptativos y autoorganizados en el tratamiento de problemas macros y la emergencia de aprendizajes significativos es debida acción de la incertidumbre: laberintos, metáforas, paradojas y autopoiesis, tal como se practica en *las matemáticas para la creatividad*, Montealegre, M.⁹ (2013).

2. MODELIZACIÓN COMPLEJA DE FENÓMENOS NATURALES Y SOCIALES

Los sistemas reales son abiertos en los cuales se construye la interdisciplinariedad, se mantienen viables si importan energía desde su entorno próximo y exportan entropía hacia él. Se trata, en palabras del Premio Nobel ruso belga Ilya Prigogine¹⁰, de *estructuras disipativas*. Cuanto más compleja sea una estructura funcional es más coherente y más energía necesita para mantener todas sus conexiones, más vulnerable es a las fluctuaciones internas y/o perturbaciones externas. Se dice entonces que el sistema es más *inestable* y que evoluciona lejos del equilibrio, G.Nicolis and I. Prigogine (1989)¹¹.

El término *estructura disipativa* busca representar la asociación de las ideas de orden y disipación. El nuevo hecho fundamental es que la disipación de energía y de materia suele asociarse a la noción de pérdida y evolución hacia el desorden, Agudelo, G. y Alcalá R. (2005)¹².

Las estructuras disipativas corresponden a la inestabilidad térmica modelada con la celdas de Rayleigh Bénard, Ruelle D. (2023)¹³. La complejidad del no equilibrio corresponden a los

1-23

7 Mitchell. M. (2012). Biological computation. The Computer Journal, 55(7), 852-855.

8 Reynoso, C. (2011). Redes Sociales y Complejidad. Universidad de Buenos Aires

9 Montealegre, M. (2013). Matemáticas para la creatividad del I al V, Tiempos Ecológicos, Colombia

10 Prigogine, I. (1998). El fin de las certidumbres, Andrés Bello. Andrés Bello, Chile.

11 G.Nicolis and I. Prigogine (1989). Exploring Complexity. W H Freeman & Co

12 Agudelo, G. y Alcalá R. (2005). Las estructuras disipativas en la evolución.

13 Ruelle, D. (2023). A Review of differentiable dynamical systems, IHES France.

procesos irreversibles asociados a la flecha de tiempo y desempeñan un papel constructivo en la naturaleza, como se ilustra en la siguiente gráfica.

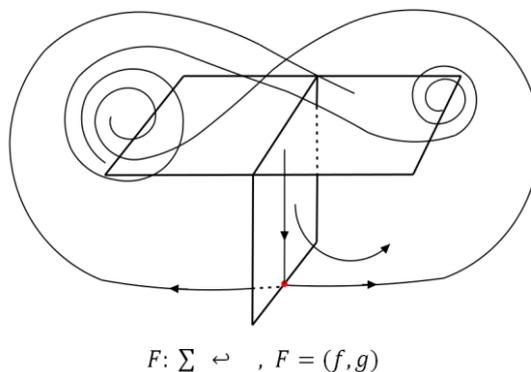


FIGURA 1. COMPLEJIDAD DEL NO EQUILIBRIO

La auto organización es la forma a través de la cual el sistema recupera el equilibrio, modificándose y acoplándose cada vez más estrechamente con su entorno próximo. Las interrelaciones entre los elementos de un nivel originan nuevos tipos de elementos en otro nivel. Cada nuevo estado es sólo una transición al *reposeo entrópico*, y la complejidad de los sistemas auto organizado de Ashby¹⁴ (1956) corresponden a la entropía.

Intermitencia es otra característica de los sistemas disipativos, significa que el caos surge del orden sino también que el orden puede surgir en el caos, por ejemplo los números irracionales son números de complejidad infinita que aparecen dentro del sistema regular de números racionales. También La aleatoriedad y complejidad infinitas para efectos prácticos son lo mismo, se puede decir que la pura aleatoriedad es lo mismo que la información infinita.

Los sistemas adaptativos complejos de la naturaleza o la sociedad son aquellos en los cuales la incertidumbre es importante para comprender que el sistema aprende. Un sistema real es *no-lineal*, además es “*complejo*”, dado que está compuesto por una gran cantidad de elementos, cada uno de los cuales interacciona con sus vecinos relativamente inmediatos y es muy difícil vaticinar lo que ocurrirá más allá de un cierto horizonte temporal. Por último, en general un sistema real es “*adaptativo*”, ya que no sólo es influido por el medio ambiente sino que reacciona y se adapta. Pero la capacidad para adaptarse tiene límites, si el sistema no puede acomodarse a tales afectaciones, su estructura puede transformarse de manera parcial o total, temporal o permanente, lo cual depende tanto de la organización y la comunicación con su entorno.

Similarmente la construcción cultural del pensamiento interdisciplinario es entendido

14 Ashby, W.R. (1956). An Introduction to Cybernetics. In London: Chapman & Hall Ltd.

a través de procesos como *auto-construcción y auto-producción, es decir autopoiesis* Maturana¹⁵ (2003) y vistos desde la biología¹⁶. Significa diferenciación de los sistemas sociales en términos de la *función* que realizan dentro de la dinámica social, Luhmann, N. (1990)¹⁷. Las ciencias sociales, desde las ciencias de la complejidad son ciencias del no equilibrio¹⁸, ciencias generativas epigenéticas, susceptibles de modelizar y simular con lógicas no clásicas. Así podemos abordar la gestión de complejidad creciente en las organizaciones Etkin¹⁹ (2005), con estrategias flexibles y adaptables para comprender situaciones irreversibles, inestables, inciertas e interdefinibles que no se pueden conocer desde el reduccionismo.

Las organizaciones son vistas como sistemas adaptativos complejos, Bohórquez Arévalo (2013)²⁰. De igual manera se adaptan continuamente en redes, la tecnología, la competencia y las dinámicas internas. Se reconoce la importancia de la interconexión y la retroalimentación en la toma de decisiones, buscando comprender cómo las interacciones entre componentes de diverso nivel de una organización contribuyen a la emergencia de patrones comportamentales, Lorenzón E. (2020)²¹.

El enfoque eco-evo-devo de Carrol²² S.B. (2005) y Sapp and Tauber²³ (2012), articulan la ecología con la evolución epigenética, Jablonka²⁴ y Lamb (2005). Así se propone un vínculo radical entre la biología, la cultura y el desarrollo para superar la comprensión de las transformaciones ecosistémicas desde las características sólo genotipos-fenotipos para soportarlas en lo genético y cultura, Maldonado²⁵ C.E. (2019), expresado en lo cognitivo, comportamental y emocional.

Los Sistemas adaptativos complejos corresponden a los fenómenos ambientales,

15 Maturana, H. y Varela F (2003). El árbol del conocimiento, bases biológicas del entendimiento humano. Lumen, Buenos Aires.

16 Méndez I. E. Carvajal B.M. (2029). Una mirada a los fundamentos biológicos de la educación desde la teoría de Santiago. Universidad de Camagüey, Cuba.

17 Luhmann, N (1990). Sociedad y Sistemas: La ambición de la teoría, U.A. de Barcelona.

18 Nicolis, G. y Prigogine, I. (1977) Self Organization in Non-equilibrium System Wiley, New York.

19 Etkin, J. R. (2011). Gestión de la complejidad en las organizaciones: la estrategia frente a lo imprevisto y lo impensado. Ediciones Granica, Buenos Aires.

20 Bohórquez Arévalo, L. E. (2013). A organização empresarial como sistema adaptativo complexo. Estudos gerenciais, 29.

21 Lorenzón, E. E. (2020). Sistemas y organizaciones. Libros de Cátedra.

22 Carrol S.B. 2005. Endless Forms most beautiful, science of evo devo. WW Norton &co.

23 Sapp, J. & Tauber, A. I. (2012) A symbiotic view of life: we have never been individual, Rev. Biol. 87.

24 Jablonka E. & Lamb, M. J. 2005. Evolutions in four dimensions: genetic, epigenetic, behavioral and symbolic variation in the history of life. Cambridge Mass: MIT Press

25 Maldonado, Carlos 2019. La Epigenética y la transformación radical de la biología, U. El Bosque.

económicos, organizacionales, evolutivos y coevolutivos, en los cuales la criticidad auto organizativa ocurre en el borde del caos y que explican experimentos físicos como la formación de tornados o láseres, químicos como estructuras disipativas, biológicos como reacciones básicas del metabolismo, formales como los que se representan en las redes booleanas y autómatas celulares, Solé, RV y Goodwin, B. (2000)²⁶.

Los sistemas ambientales son auto organizativos y corresponden adaptaciones a la naturaleza de los sistemas dinámicos (Kampis²⁷ 1991). Sistemas que pueden auto modificarse produciendo nuevas expresiones fenotípicas, derivando estrategias de mitigación y adaptabilidad, Gallopín (2006)²⁸. Por lo tanto los parámetros y las variables son definibles sólo a posteriori Thom²⁹ (1983) y Schrödinger (1944)³⁰. Por ello autores como R. B. Laughlin, premio Nobel de Física en 1998³¹, afirman que vivimos una época en la que la tendencia reduccionista ha terminado.

Según Murray Hell Mann³², Instituto Santa Fé y premio nobel de física 1969, de la mayor auto organización neguentrópica el cambio climático es un sistema simbólico abstracto, que mezcla su condición evolutiva con aspectos del mundo físico y con creencias relacionados con la cultura del siglo XX. Murray Gell Man identifica algunas señales para acelerar una transformación cultural para aproximarnos colectivamente a la construcción de una sociedad con menos emisiones de carbono.

Los modelos matemáticos de J. Holland (2004) integran procesos resilientes y adaptativos frente al reto de la sostenibilidad ambiental, en particular los procesos emergentes de la variabilidad climática que conducen sistemas auto-organizadas con funciones cruzadas en ciclos adaptativos: exploración, conservación, liberación y reorganización, Holling C.³³ (2011) sobre ciclos que refleja los cambios en el proceso de adaptación.

26 Solé, RV y Goodwin, B. (2000). Señales de vida: ¿Cómo la Complejidad impregna la Biología?.

27 Kampis, George. 1991. Self-Modifying Systems in Biology and Cognitive Science: A New Framework for Dynamics, Information and Complexity. Vol. 6. Elsevier.

28 Gallopín, G.2006. Linkages Between Vulnerability, Resilience, and Adaptive Capacity. Naciones Unidas.

29 Thom, René. 1983. Mathematical Models of Morphogenesis. Ellis Horwood.

30 Schrödinger, Erwin. 1944. ¿Qué Es La Vida? Tusquets.

31 Laughlin, R.B. (2007). Un universo diferente, reinención de la física. Katz Editores, Buenos Aires.

32 Gell-Mann, Murray, 2007. El quark y el jaguar, Editorial Tusquets, Barcelona.

33 Holling, C. 2011. Resilience and Stability of Ecological Systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*

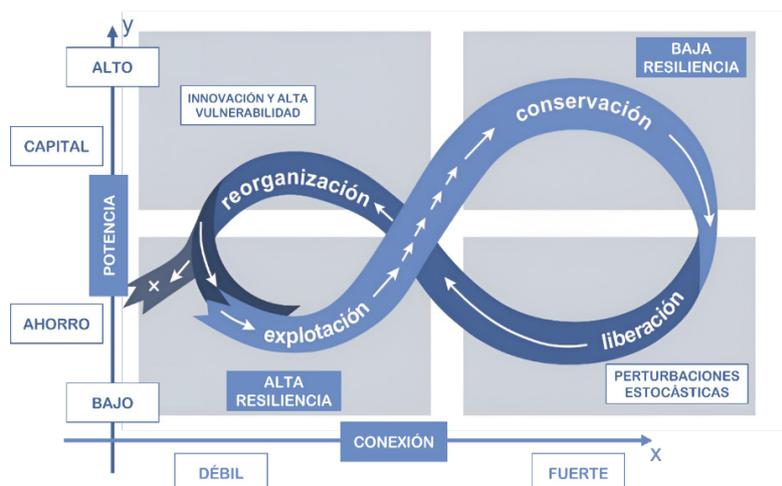


FIGURA 2. BUCLE ADAPTATIVO BIOECONÓMICO

Recientemente los premios Nobel de Física 2021, George Parisi, Syukuro Manabe y Klaus Hasselmann³⁴ han hecho contribuciones innovadoras para comprender desde la complejidad el clima de la Tierra, su variabilidad y predicción del calentamiento global.

La pérdida de resiliencia ecológica pone a prueba la capacidad de adaptación de la dimensión humana del sistema, así lo advierte las Naciones Unidas panel de expertos en Sustentabilidad Global, “*Personas Resilientes, Planeta Resiliente: el futuro que queremos*”, Walker et al³⁵ (2006), IPBES³⁶ y en los Objetivos Del desarrollo Sostenible, ODS³⁷. Montealegre, M. Montealegre J. y Vera J.³⁸ (2024) proponen procesos de modelamiento para la sostenibilidad Ambiental, MAPI3 UIS.

En la perspectiva termodinámica surge la economía ecológica de Georgescu-Roegen (1971)³⁹, quien mediante la aplicación de la *Ley de la Entropía* inicia un nuevo campo de investigación de las relaciones entre economía, las ciencia caos y de la incertidumbre de estos biosistemas abiertos y complejos lejos del equilibrio termodinámico, Enrique Leff

34 Nobel de Física 2021, George Parisi, Syukuro Manabe y Klaus Hasselmann

35 Walker et al (2006). Exploring Resilience in Social-Ecological Systems Through Comparative Studies and Theory Development.

36 <https://www.ipbes.net/>

37 ODS 2015. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas.

38 Montealegre, M. Montealegre J. y Vera J. (2024). Modelamiento de la sostenibilidad Ambiental, MAPI3.

39 Georgescu-Roegen, Nicholas, 1971. La ley de la Entropía y el proceso económico, Universidad Católica del Ecuador.

(2009)⁴⁰. También Martyushev, L.M. (2003)⁴¹ y Anzola, D. (2017)⁴² se refieren a esta auto organización entrópica-antrópica en la biosfera con la metáfora de trama de la vida, Capra F (2003)⁴³.

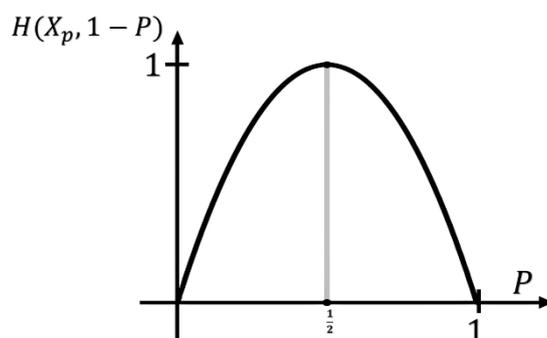


FIGURA 3. MODELO DE ENTROPÍA

También los modelos de inteligencia de enjambres explican los patrones de comportamiento social observados en bandadas de pájaros, cardúmenes de peces o enjambres de abejas que proporcionan un marco para explorar la resolución de problemas distribuidos sin control centralizado, Hong Bo y Ajith A. (2009)⁴⁴. Un tipo de estos sistemas es el de *Pasteels*⁴⁵ (1989), quien trabajó con colonias de hormigas, observando que cuando el número de hormigas es pequeño tienden a ir todas a la misma fuente de alimento llegando a un número crítico de hormigas denominado punto de bifurcación que trasciende las partes de las que se encuentra formada. Estas emergencias funcionan *de abajo hacia arriba* al igual que lo hacen las ciudades, las colonias de hormigas y el internet, Steven Johnson⁴⁶ y Resnick, M⁴⁷. (2001), ganando capacidad de adaptación y orden similar a las organizaciones sociales.

Los modelos de la teoría de juegos abordan decisiones estratégicas referentes a los

40 Leff, Enrique (2009), Ecología, Capital e Cultura: a Territorialização da Racionalidade Ambiental. Editora, Petrópolis, Brasil.

41 Martyushev, Leonid M. 2023. Old Misconceptions and New Breakthroughs, Entropy Production, Entropy.

42 Anzola, D. (2017) Self-organization and Social Science, Computational and Mathematics Organization Theory

43 Capra F (2003). The web of life

44 Hong Bo Liu y Ajith Abraham, 2009. Chaos and Swarm Intelligence, School of Computer Science China.

45 Pasteels, J. M., Daloze, D.; Aldehydic (1989). Alarm pheromone of the ant *Crematogaster*, Journal of chemical ecology, 15.

46 Jhonson, Steven; Los Sistemas Emergentes; Fondo de Cultura Económica, 2009.

47 Resnick, Mitchel (2001). Tortugas, Termitas y Atascos de Tráfico.

disfrute de los bienes comunes, en particular los juegos cooperativos contra la naturaleza procuran equilibrios óptimos entre las acciones de los agentes socio-ecológicos, Neyman A. Sorin, S.(2003)⁴⁸.

3. REDES COMPLEJAS: PROCESOS SOCIO, TECNO, CULTURALES

La ciencia de las redes identifica propiedades universales fruto de su caracterización topológica, Boccaletti, Latora, Moreno, Chavez, & Hwang⁴⁹ (2006). Ver figura siguiente.

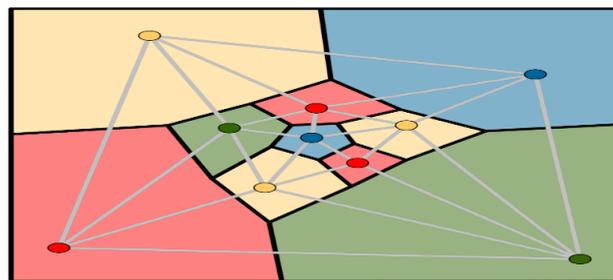


FIGURA 4. REDES COMPLEJAS: PROCESOS SOCIO, TECNO, CULTURALES

En las Ciencias Sociales y humanas se modelan con la topología de las ciencia de las Redes Complejas⁵⁰, uno de los desarrollos de las ciencias de la complejidad.

Las redes Complejas son una especie de modelado *botton to up* que permite pasar de los niveles individuales a las agrupaciones, Reynoso, C⁵¹. (2011); en Newman⁵² (2003), se relacionan la mayoría de las contextualizaciones de redes complejas realizadas, hasta la fecha, en diferentes campos del conocimiento. La trama de la vida es un ejemplo muy ilustrativo de las redes complejas ambientales⁵³.

Al respecto, las redes complejas tienen cuatro categorías: redes de apego preferencial ligados a fenómenos de distribución de Pareto $P(X) \sim x^{-k}$; redes aleatorias, Alfred Rényi

48 Neyman, A., Sorin, S., editors (2003), Stochastic Games and Applications, Kluwer, Dordrecht.

49 Boccaletti, Latora, Moreno, Chavez, & Hwang (2006). Complex networks: Structure and dynamics, Physics Reports, V.424

50 <https://gephi.org/>

51 Reynoso, C. (2011). Redes Sociales y Complejidad. Universidad de Buenos Aires.

52 Newman, M. (2003). The structure and function of complex networks. SIAM review, 167-256.

53 <https://www.youtube.com/watch?v=6XStIzVSX50> . Fritjof Capra, Una nueva forma de pensar la vida: ciencia, redes y sistemas vivos.

Paul Erdős⁵⁴ (1959); redes libres de escala Barabási, A-L. & Albert, R⁵⁵. (1997); redes del mundo pequeño, Duncan Watts D. and Strogatz S⁵⁶. (1998).

Ahora se presentan dos modelos de redes que tienen una conexión natural, el primero de ellos, el modelo de redes aleatorias de Paul Erdős y Alfred Rényi junto con el modelo de redes de mundo pequeño de Duncan Watts y Steven Strogatz. En últimas se hace una corta reseña del software libre Gephi como una de las herramientas de mayor soporte y distribución en el modelado y análisis de redes.

Un grafo aleatorio es, tal como el termino puede sugerir, una red de vértices conexos por enlaces de un modo puramente aleatorio” (Watts,2006). o como el conjunto de botones que el biólogo estadounidense Stuart Kauffman (1939–) concibió, en ese sentido, “imaginemos que vaciamos una caja llena de botones en el suelo y luego nos dedicamos a escoger pares de botones al azar y los unimos unos con otros con hebras de hilo de longitudes apropiadas ver Figura. Finalmente, el resultado es un grafo aleatorio.

La expresión redes libres de escala (scale-free networks) fue ideada por Barabási las redes de este tipo aparecen en el contexto lógicos y materiales más disimiles, Barabasi y Bonabeau,2003. Además, la red libre de escala permite conciliar el hecho que muchas redes reales presentan conglomerados o clústers jerárquicos.

Otras propiedades de las redes L.E son un desafío en el sentido común es decir, aún hay discusiones sobre el valor de γ en el termino de la ley de potencia, tiende a caer entre 2 y 3, según su estructura cualquier nodo está conectado con cualquier otro con muy pocos grados de separación : alrededor de seis cuando los nodos son uno cuantos cientos de miles y no más de diecinueve entre cualesquiera de los 4000 millones de la página web(Reynoso, 2008)

El uso recurrente de las redes en el desciframiento del mundo real, utilizan específicamente la definición de grafo, pues su generalidad representa quizás la mayor fortaleza del estudio de las redes, debido a que topológicamente dos sistemas completamente distintos pueden poseer estructuras similares que a su vez permiten encontrar características aparentemente universales en la mayoría de las redes, como por ejemplo el fenómeno del mundo pequeño y la distribución de grados libres de escala, por citar algunos, lo cual posibilita la segmentación de las redes a partir de propiedades comunes. Del mismo modo, conviene citar la categorización de las redes sugerida por Mark E. J. Newman⁵⁷ (Newman, 2003), la cual reúne y agrupa la mayoría de las investigaciones realizadas hasta ese momento desde diferentes áreas del conocimiento en cuatro grupos: redes sociales, redes

54 Erdős, P; Rényi, A. (1959). On Random Graphs. Publicationes Mathematicae 6: 290–297

55 Barabási, A.-L., Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. Science, 286(5439), 509–512. <https://doi.org/10.1126/science.286.5439.509>

56 Duncan J. Watts* & Steven H. Strogatz (1997). Collective dynamics of ‘small-world’ networks. Cornell University.

57 Newman, M. (2003). The structure and function of complex networks. SIAM review, 167–256.

de información, redes tecnológicas y redes biológicas; siendo el primer grupo el de mayor interés para nuestros objetivos.

4. MODELAMIENTO MATEMÁTICO EN EL APRENDIZAJE COMPRENSIVO

Los procesos educativos desde la complejidad privilegian la inteligencia emocional para comprensión y la *autoestima*; reconociendo inestabilidades, aberturas, indeterminaciones, coevoluciones, verdad y poder, Foucault M.⁵⁸ (1987); la emergencia de estructuras *autonómicas* como “*rizomas*” o “*fractales*”; los desequilibrios afectados por rupturas y fluctuaciones, que se reconocen en las (De)construcciones, Derrida J.⁵⁹ (1995). Son las organizaciones de Capra E.⁶⁰ (2003) en la educación para vida, entre flexibilidad y plasticidad cognitiva Piaget J.⁶¹ (1982); son juegos estratégicos entre emociones y razones (Bateson, 1979); son aleatoriedad y certeza, Shannon C.E. y Weaver, W.⁶² (1949); inestabilidad y catástrofes, Thom R.⁶³ (1983), ver figura siguiente.

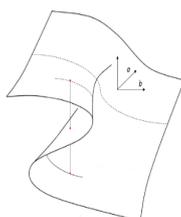


FIGURA 5. SISTEMAS COMPLEJOS INESTABLES

Los retos para una educación desde la complejidad suponen asumir posturas abiertas, creativas e innovadoras como aprendizajes laberíntico propuesto por Colom A.J.⁶⁴ (2002), aprendizajes metafóricos relacionados con la comprensión, Perkins D. et.al.⁶⁵ (2014); entre la diferenciación e integración de los aprendizajes autopoieticos, Maturana H. y

58 Foucault, M. (1987). Saber-poder. Paidós Buenos Aires.

59 Derrida, J. (1995). El lenguaje y las instituciones filosóficas. 1-78. papers3://publication/uuid/B96905AB-F056-44B3-9F43-56E00109764F

60 Capra, F. (2003). La trama de la vida. Editorial Anagrama, Barcelona.

61 Piaget, J (1982). Epistemología Genética. Editorial Debate, Brasil.

62 Shannon, C. E. y Weaver, W. (1949). The Theory of Mathematical Communication. International Business, 131.

63 Thom, R. (1983). Mathematical models of morphogenesis. Ellis Horwood.

64 Colom, A. J. (2002). (De) construcción del conocimiento pedagógico: perspectivas en teoría de la educación. Barcelona: Paidós.

65 Perkins, D. et.al. (2014). Hacer visible el pensamiento. Cómo promover el compromiso, la comprensión y la autonomía del estudiante. Buenos Aires: Paidós.

Varela F.⁶⁶ (1999). Pues desde paradigma de la complejidad el fenómeno educativo es emocional, flexible e incierto, o como lo caracteriza Morin E.⁶⁷ (2005) : El error y la ilusión, conocimiento pertinente, dimensión humana, individuo – sociedad – especie, identidad terrenal, conciencia de los riesgos y la comprensión

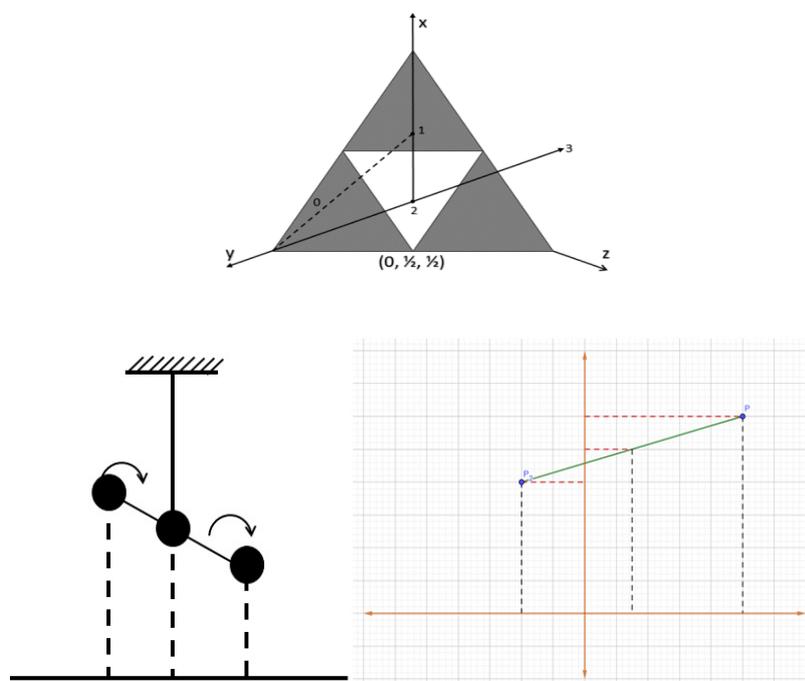


FIGURA 6. APRENDIZAJE INTERDISCIPLINAR

En el sistema educativo debe formar para lo desconocido, Perkins D.⁶⁸ (2017), *interpretar las formas en que las personas se encuentran conductualmente*. Superar el ejercicio de las disciplinas fragmentadas, métodos reduccionistas y descontextualizados y por ello poco pertinentes. La educación debe facilitar procesos para superar fronteras disciplinares, Piaget J. y García R.⁶⁹ (1982), como lo sustenta Bassarab, N. (2002)⁷⁰ en lenguaje contemporáneo sobre teorías estructuralistas de Piaget J. y Vygotski L.⁷¹ (1996). Se constituyen estructuras de abajo hacia arriba y que funcionen como una totalidad auto organizada, un sistema interdisciplinar complejo, Maldonado C.E.⁷² (2024): formar seres

66 Maturana, H. y Varela, F. (1999). El Árbol Conocimiento. Las bases biológicas del entendimiento humano.

67 Morin, E. (2005). Los siete saberes necesarios para la educación del futuro. UNESCO, 122

68 Perkins, D. (2017). Educar para lo desconocido, Ediciones SM, Madrid

69 Piaget J. y García R. (1982) Psicogénesis e Historia de la Ciencia, Siglo XXI. http://books.google.com/books?id=OP_46cTPf8MC&pgis=1

70 Bassarab, N. (2002) Manifiesto de la Interdisciplinariedad, La Habana.

71 Piaget, J. y Vygotski, L. (1996). Biología y conocimiento. *Academia*

72 Maldonado, C. E. (2014). ¿Qué es eso de pedagogía y educación en complejidad? *Debate Teórico-Metodológico*, 1, 1–23.

humanos autónomos y libres complejizando la educación; desde este abordaje se rompe con los conceptos tradicionales de adquisición de conocimiento, enseñanza, aprendizaje, autoridad, disciplina, asignaturas, currículo, programas y evaluación.

El inicio de la investigación sobre aprendizajes es siempre la abducción, es la hipótesis la que indica qué experimentos hay que hacer, adónde hay que mirar, Godino J.⁷³ (2003) y Pierce C.⁷⁴ (2008); es el razonamiento propio del pensamiento infantil que orienta las didácticas del aprendizaje basados en las preguntas laberínticas y que intuitivamente desbordan las disciplinas, Fischbein E.⁷⁵ (1987). Los razonamientos inductivos, heurísticos y deductivos son derivas naturales de estas abducciones, Tall D.⁷⁶ 1996).

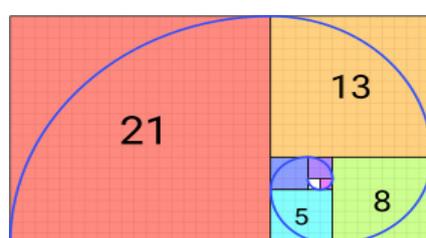


FIGURA 7. RAZONAMIENTO INTERDISCIPLINAR

Por supuesto también se cuestiona y (de)construye la organización escolar que le daba forma material a todas esas concepciones, Davis y Sumara⁷⁷ (2006), pues las oportunidades y ambientes de aprendizajes son más enriquecedores fuera de los contextos del aula. En particular la metáfora de aprendizajes no lineales en el borde caos modelizado por Bak P.⁷⁸ (1996) soportan la creatividad más allá del patrimonio de los artistas; construye redes complejas involucrando emergencias recreativas y lúdicas y con necesarios márgenes de libertad.



FIGURA 8. EXPERIMENTO ARITMÉTICA ARTICULADA

73 Godino, J. (2003). Teoría de las funciones semióticas. U. de Granada.

74 Pierce, C. (2008). Pragmatismo. Ediciones Encuentros, Madrid.

75 Fischbein, E. (1987). Intuition in science and mathematic. Dordrecht Reidel.

76 Tall, D. (1996). Advanced Mathematical Thinking Computer. Education Wárwick.

77 Davis, B. y Sumara, D. (2006). Complexity and Education Inquiries Into Learning, Teaching, and Research. <https://doi.org/10.4324/9780203764015>

78 Bak, P.(1996). *How Nature Works: The Science of Self-Organized Copernicus*. www.natureworks.com

Desde esta perspectiva involucramos currículos que evolucionan de una organización fragmentada en disciplinas, hacia una concepción no lineal, orgánica, comprensiva y holista, J. Prigogine y Stenger⁷⁹ (1989). Como lo propone Badilla Saxe E.⁸⁰ (2009), con currículos no lineales a partir de grandes ideas de Beane J. A.⁸¹ (2000) y del método pedagógico de proyectos para resolver problemas, Dewey J.⁸² (2013). Interactuar con la emergencia de la complejidad en educación, Mason M.⁸³ (2008) reconociendo la diversidad, interacciones próximas, coherencia y control autoorganizativo. Mediar para que el aprendizaje se realice a través de la indagación, el pensamiento creativo a través de preguntas abiertas con múltiples interpretaciones, hallazgos sorprendentes: sino no hay sorpresa no hay aprendizaje.

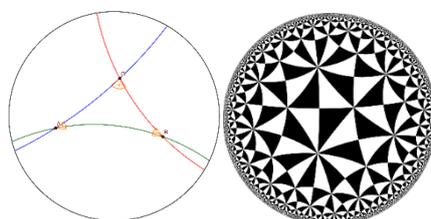


FIGURA 9. MODELO EMERGENCIA DE ESTRUCTURA GEOMÉTRICA

El pensamiento crítico es pensamiento aplicado, Lipman M.⁸⁴ (1998), implica usar el conocimiento para producir un cambio razonable se distingue entre un pensamiento implicativo y pensamiento ampliativo. El primero, ejemplificado por la deducción, extiende nuestro pensamiento sin ir más allá de la información y el segundo ejemplificado por la inducción, la analogía y la metáfora.

Precusores del pensamiento crítico como Perkins D and Swartz R.⁸⁵ (2016) promueven la comprensión profunda que trasciende la memorización. Son estrategias del pensamiento crítico: presentar modelos, retroalimentación, facilitan lecturas comprensivas y preguntas desafiantes. Por ejemplo el siguiente modelo del archipiélago de los fraccionarios.

79 Prigogine I. and Stenger (1990). La nueva alianza. Alianza Editorial, Madrid.

80 Badillo, E. (2009). Diseño Curricular: De la integración a la Complejidad. Universidad de Costa Rica.

81 Beane J. A. (2000) Curriculum Integration and the Disciplines of Knowledge. University of Nebraska.

82 Dewey, J. (2013). The Child and the curriculum. Z y L Barnes Publishig

83 Mason, M. (2008). Complex theory and the Philosophy of education. Wiley-Blakwell

84 Lipman, Mattheu 1998, El lugar del pensamiento, Octaedro Editorial.

85 Perkins, D, and Swartz R, 2016. Teaching Thinking. Ruetledge New York.

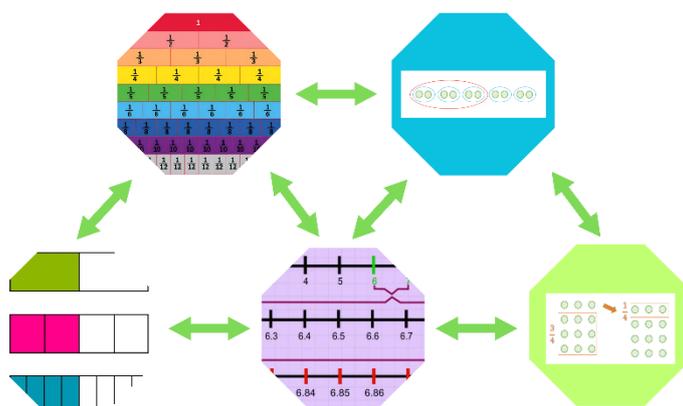


FIGURA 10. ARCHIPIÉLAGO DE LOS FRACCIONARIOS

La educación *axiológicamente* desarrolla conciencia en libertad en contextos abiertos y autoorganizados en el borde del caos Kauffman S.⁸⁶ (2000), así que las organizaciones transitan entre orden y desorden con acciones liberadoras, Freire P.⁸⁷ (1994). Dicho de otra manera, auto-eco-organizados como es descrita por Bateson, G.⁸⁸ (1979). Son interacciones entre procesos singulares y regulares; entre conocimientos locales y globales; abordajes educativos para el rescate de soluciones impensables a los problemas inciertos.

Foerster, H.V.⁸⁹ (2006) describe estos procesos mediante la metáfora de máquinas no-triviales, $y = F(x, z)$ Función motriz y $z' = Z(x, z)$ Función de estado. Resalta la importancia del método de las preguntas no triviales abiertas en contextos simbólicos, Chomsky N.⁹⁰ (1989), e interactivos, con motivaciones para el pensamiento computacional e el modelado matemático, Neumann, J. V.⁹¹ (1958). De ahí la interrelación indistinguible entre habilidades lingüísticas interdefinidos con el pensamiento matemático.

86 Kauffman, S. (2000). *Investigations*. Oxford University Press.

87 Freire, P., *Pedagogía del oprimido* México; Ed. Siglo XXI; 1994.

88 Bateson, G. (1979). *Heteroaprendizajes, espíritu y naturaleza*. Palo Alto.

89 Foerster, H. Von. (2006). *Las semillas de la cibernética*. Barcelona: Gedisa

90 Chomsky, N. (1989). *El conocimiento del lenguaje, su naturaleza*. Madrid, Alianza

91 Neumann, J. Von. (1958). *The Computer and the Brain* New. Yale University Press.

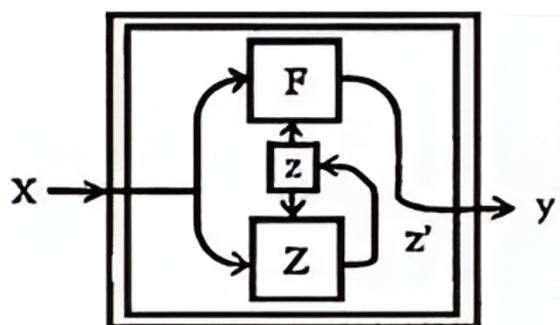


FIGURA II. MODELO CIBERNÉTICO

En la vía del empoderamiento de los aprendizajes, Montealegre M. y Vera Jasmidt⁹² (2022) y Martha Nussbaum⁹³ (2012), investigan cómo se construyen capacidades, que en contextos de Neuropedagogía Smith⁹⁴ (2019) y su articulación con la metacognición, Brown & Jones⁹⁵ (2020); sugieren a los educadores para que participen de los retos actuales sobre autorregulación y su relación significativa con la afectividad, Flavell⁹⁶ (1977). Los aprendizajes significativos, Ausubel et al.⁹⁷ (1978), desarrollan habilidades para la metacognición, que es esencial para el establecimiento de metas, selección de estrategias y evaluación motivadora. La gestión de la metacognición a través de la estrategia de la resolución de problemas no depende de la posesión de un gran bagaje de conocimiento, sino en juegos de roles con diversas estrategias cooperativas; creatividad por asombros; libertad y autonomía.

La complejidad como ludopatía, Maldonado C.E.⁹⁸, supera el dualismo entre mente y materia, Bateson G.⁹⁹ (1972), Ciencias Naturales y humanidades, Snow C¹⁰⁰; corresponden interacciones entre filosofía, ciencia, arte y tecnología y humanidades. En efecto Deleuze-Guattari¹⁰¹ [1991] definen el pensamiento en sus tres grandes formas: la Ciencia, el Arte y la Filosofía, maneras indistinguibles de afrontar el caos, lo infinito y lo indiscernible

92 Montealegre M. y Vera J. (2022). Hacia la Pedagogía de la Complejidad. Revista Ciencias de la Complejidad.

93 Martha N. (2012). Crear capacidades propuesta para el desarrollo humano. Ediciones Paidós, Barcelona.

94 Smith, A. (2019). The Role of Neuropedagogy in Teacher Training. Journal of Educational Research 43.

95 Brown, T. L., & Jones, S. W. (2020). Fostering Metacognition in the Classroom: Opportunities and Challenges. Educational Psychology Review, 32.

96 Flavell, J. H. (1977). Cognitive development. Prentice-Hall.

97 Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H. (1978). Educational Psychology: A Cognitive View

98 Carlos Eduardo Maldonado (2024). Estética de la Complejidad. Desde Abajo, Bogotá D.C.

99 Bateson, G. (1972). Pasos hacia la ecología de la mente, una aproximación revolucionaria de la autocomprensión del hombre. Lohlé-Lumen, Buenos Aires

100 Snow, C.P.(1965). Les dues cultures i la revolució científica. Edicions 62. Barcelona

101 Deleuze, G. y Guattari, F. (1991). ¿Qué es la filosofía?. Miruil, Paris.

modelado en la paradoja de Zenón.

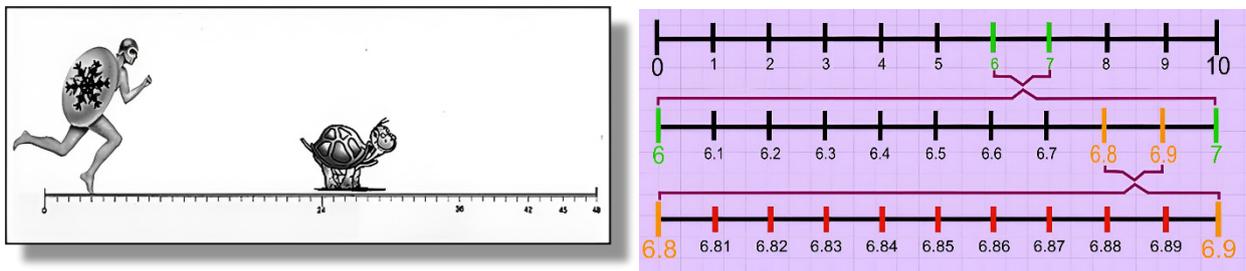


FIGURA 12. PARADOJA DE ZENÓN

Recientemente se está construyendo el modelo STEAM integrado Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas como un campo multidisciplinar y permite abordar los desafíos que plantea la compleja realidad social, científica y tecnológica de estos tiempos. Los procesos centrados en el STEAM requieren la implementación de metodologías activas y la combinación de inteligencias con el fin de posibilitar la solución creativa y diversa a los problemas, Laudan¹⁰² L. (1984). Se avizora que los resultados de este método será notablemente más relevantes que los derivados de las metodologías tradicionales. Los procesos centrados en el STEAM requieren de aprendizajes colaborativos propios de inteligencias múltiples, focalizadas en construcción de situaciones didácticas no estructuradas, Chevillard Y¹⁰³ (1997) y Casado y Checa¹⁰⁴ (2020), como se ilustra en la siguiente gráfica:

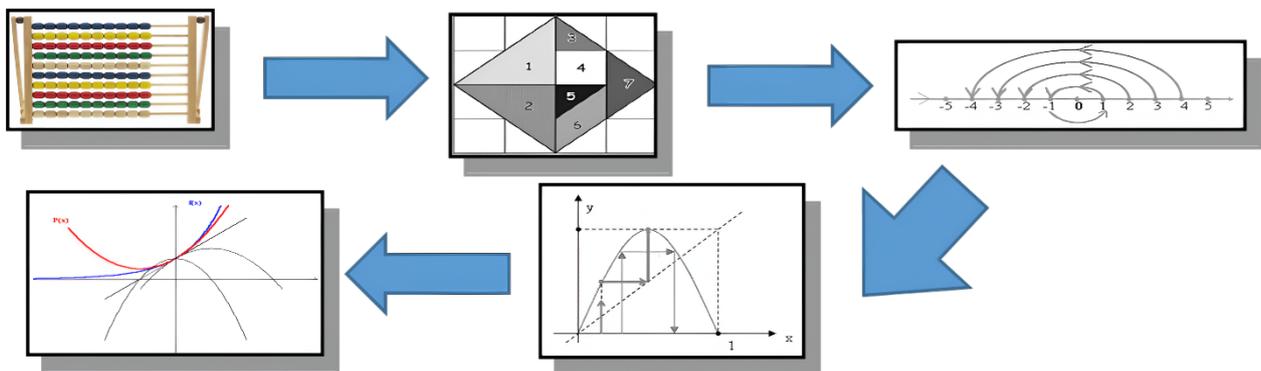


FIGURA 13. COMPLEJIDAD EN LA MATEMÁTICA BÁSICA

102 Laudan L. (1984). Ideas epistemológicas en la enseñanza de las ciencias, Instituto de física, Texas Austin.

103 Chevillard, Yves; La transposición didáctica, Aique Buenos Aires 1997.

104 Casado, R. y Checa, M. (2020) Robótica y proyectos Steam: Desarrollo de la creatividad en las aulas. Revista de medios Educativos 58, 51-69, Doi:10.12795/pixelbit.73672.

En particular Montealegre, M¹⁰⁵. (2013) presenta una propuesta curricular para formar en las habilidades Matemáticas, haciendo explícitos los compromisos e intereses de los aprendizajes a través del hábito de la solución de problemas con modelizaciones elementales; se orienta para identificar la existencia de capacidades, habilidades y aptitudes que, en conjunto, permiten a la persona resolver problemas y situaciones de la vida.

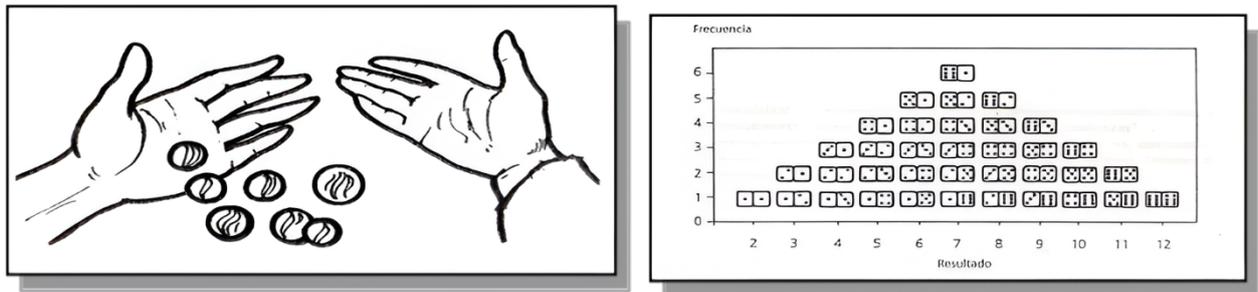


FIGURA 14. MODELO SOBRE INCERTIDUMBRE

En esta propuesta curricular se relaciona métodos para aprendizajes con sistemas cercanos a su cotidianidad, para favorecer la transformación metacognitiva en los dominios en la matemática escolar; se articulan sus sistemas matemáticos con los procesos metacognitivos y contextos, para integrarlos a la

Ejemplo la dinámica del conteo, exploración dinámica del espacio, simetrías y geometría sintética, Artin E.¹⁰⁶ (1963); aproximaciones y estimaciones; escenarios variacionales y azarosos.

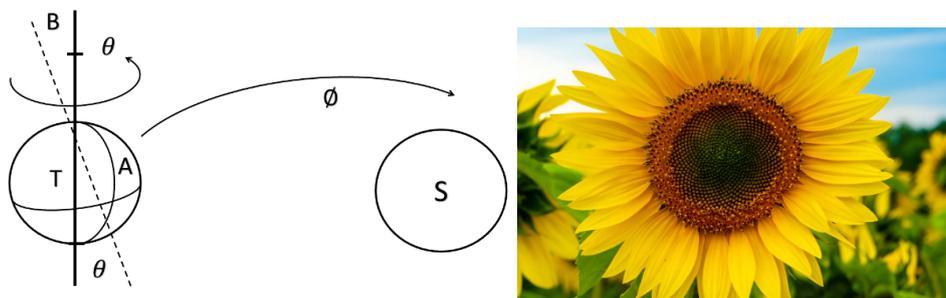


FIGURA 15. CONTEXTOS PARA AULA ABIERTA

La propuesta curricular Montealegre, M¹⁰⁷. (2013) Se resume en el siguiente esquema construido por dicho autor: no linealidad, interdisciplinariedad y empoderamiento.

105 Montealegre, M. (2013). Matemáticas para la creatividad del I al V, Tiempos Ecológicos, Colombia.

106 Artin, E. (1963): «Puntos de vista extremados sobre la enseñanza de la geometría», Alianza Editorial.

107 Montealegre, M. (2013). Matemáticas para la creatividad del I al V, Tiempos Ecológicos, Colombia.

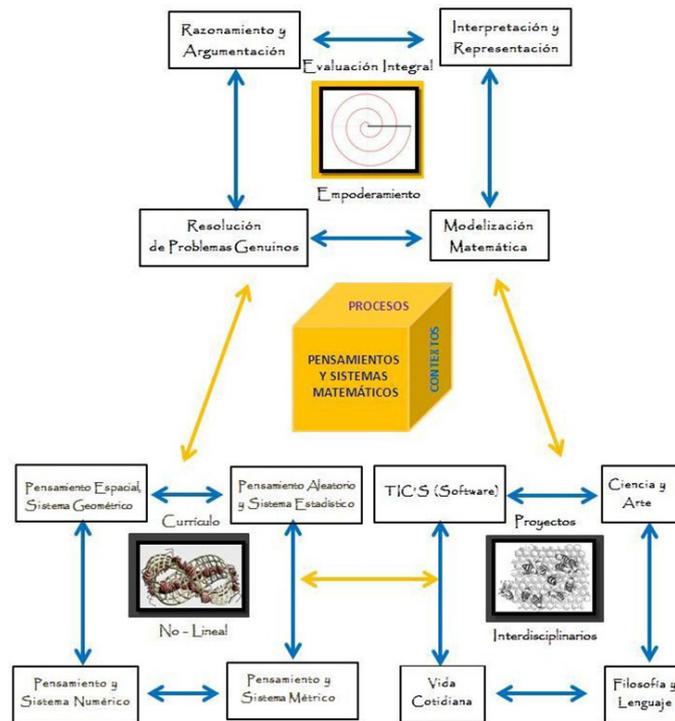


FIGURA 16. SISTEMA CURRICULAR

5. MODELIZACIÓN BIOINSPIRADA.

En esta línea de investigación John Von Neumann¹⁰⁸ (1966) también modeló una máquina capaz de auto replicarse, los llamados Autómatas Celulares, A.C, las cuales Inicialmente fueron interpretados como conjunto de células que crecían, se reproducían y morían a medida que pasaba el tiempo” Reyes¹⁰⁹ Gómez (2011). Un A.C. constituye un sistema dinámico discreto, compuesto por un conjunto de celdas o células que adquieren distintos estados, según los estados de las celdas vecinas y reglas de transición locales. Los A.C. pueden representar las dinámicas de juegos evolutivos, Nowak M.A.¹¹⁰ (2006). Las Ciencias de la Computación nos enseña a comprender lo posible o imposible, el juego de la vida. Los procesos de recursividad permiten la construcción de fractales en la matemática, las ciencias naturales y sociales, que tienen el potencial de ser sistemas generativos con imágenes complejas, Mandelbrot B.¹¹¹

Para simular este tipo de problemas existe la alternativa del modelado y simulación

108 Neumann, J.V. (1966) Theory of Self-Reproducing Automata, Illinois University Press.

109 Reyes Gómez, D. A. (2011). Descripción y aplicaciones de los autómatas celulares.

110 Nowak M.A. (2006). Evolutionary Dynamics, explorando la ecuación de la vida. Harvard University Press.

111 Mandelbrot, B. (2004). Fractals and Chaos: The Mandelbrot Set and Beyond, Springer Verlag NY

computacional con agentes y simulación computacional de su dinámica, Rodríguez¹¹² Zoya & Pascal (2015), que actúa como una sociedad artificial integrada por agentes autónomos y heterogéneos que interactúan de modo no previsible entre sí y con el entorno. Es una manera robusta de entender las dinámicas emergentes y autoorganizativas. La interacción entre los agentes son dadas por reglas predefinidas que tienen la capacidad aprender. Epstein¹¹³ (2007).

La complejidad computacional, desde los fundamentos establecidos por Alan Turing¹¹⁴ hasta la entropía de la Información y la NP-completitud, exploraciones en la intersección con la computación biológica, Shannon, C. y Weaver, W. (1949)¹¹⁵ y Fortnow, L. (2023)¹¹⁶ expresadas con interacciones los números primos en el infinito, teorema Z de Riemann y que espacialmente corresponde con la topología no orientada de Moebius.



$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s} = \prod_{p \text{ primo}} \left(\frac{1}{1 - p^{-s}} \right)$$

donde $s = \frac{1}{2} + it, t \in \mathbb{R}$

FIGURA 17. DE LA ARITMÉTICA A LA GEOMETRÍA

También Melanie Mitchell (2023)¹¹⁷ ha explorado la relación entre la complejidad algorítmica y la evolución, su trabajo resalta cómo los algoritmos pueden evolucionar y adaptarse con el tiempo, lo que tiene importantes implicaciones en la complejidad de los problemas resolubles por sistemas basados con algoritmos evolutivos.

Esto demuestra cómo los principios de la evolución biológica pueden resolver problemas en el ámbito computacional, Kauffman, S. (2011)¹¹⁸. En este sentido, gracias a autores como Eric Smith y Harold Morowitz¹¹⁹, la integración de la biología y la complejidad computacional

112 Rodríguez Zoya, L., & Pascal, R. (2015). Modelos basados en agentes: aportes epistemológicos y teóricos para la investigación social. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*

113 Epstein, J. (2007). *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

114 Turing, A. (1950). *Computing Machinery and Intelligence*. *Mind* 49: 433-460

115 Shannon, C. y Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. University Illinois Press.

116 Fortnow, L. (2023) *The Golden Ticket: P, NP, and the Search for the Impossible*. Princeton University Press

117 Mitchell, M. (2012). *Biological computation*. *The Computer Journal*, 55(7), 852-855.

118 Kauffman, S. (2011). *Information Processing and Biological Systems*. Berlin: Springer.

119 Smith E. y Morowitz H. (2016). *The Origin and Nature of Life on Earth: The Emergence of the Fourth Geosphere*,

permite comprender la computación biológica en términos termodinámicos, mostrando cómo la vida misma es un ejemplo de complejidad emergente, Sipper M. (1990)¹²⁰.



FIGURA 18. MODELO INTELIGENCIA DE ENJAMBRES

Los fenómenos afectados por las transiciones de fase son explicados mediante modelos de autómatas celulares o redes complejas en el borde del caos, criticidad, Ruelle, D¹²¹ (2023). Se realiza en la transición de la periodicidad hacia caos en Langton, C. G.¹²² (1990) y para las ciencias sociales en Reynoso, C. (2009)¹²³. Sobre este asunto Pascual M. and Guichard F. (2005)¹²⁴ consideran tres tipos de criticidad: (i) criticidad clásica debida a la transición de fase; (ii) autoorganizada según Carlos Reynoso, (2009) y (iii) criticidad robusta tipo percolación, Cohen, R. (2002)¹²⁵; los cuales explican la extinción de especies, el proceso de inoculación para enfermedades y las redes eficientes de comunicación.

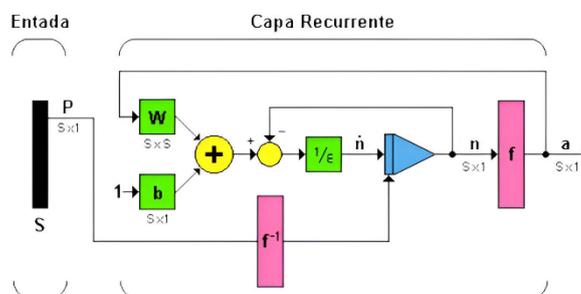


FIGURA 19. ALGORITMO BÁSICO INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Cambridge University Press.

120 Sipper, M. (1990). The emergence of cellular computing. IEEE Computer, 32(7).

121 Ruelle, D (2023). A Review of linear response theory for general differentiable dynamical systems

122 Langton, C. G. (1990). Complex Systems Group, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos

123 Reynoso, C. (2009); Redes y complejidad: modelos y algoritmos no convencionales en investigación sociocultural

124 Guichard F. (2005). Criticality and disturbance in spatial ecological systems; Trends in Ecology and Evolution.

125 Cohen, R. (2002). Percolation Critical Exponents in Scale-Free Networks.

La inteligencia artificial se ha desarrollado con gran impacto, permite la simulación y solución independiente a problemas complejos y corresponde a desarrollo de aprendizajes que realizan redes neuronales artificiales estocásticas, Derrida B. y Pomeau Y¹²⁶ (1986) o generativos relacionados con las competencias lingüística, ver figura de arriba, que han alcanzado el nivel de algoritmos metaheurísticos bioinspirados para aprendizajes de procesos de evolución como algoritmos genéticos, Holland J.¹²⁷.

En consecuencia la biosemiótica puede ser idóneamente considerada como una de las ciencias de la complejidad, Maldonado C. (2021)¹²⁸ y trata de un ámbito centrado en la vida, articula dominios: la antroposemiótica, que corresponde a lo que clásicamente, desde Saussure en adelante, se entendió como semiótica, semiología; procesos de información fitosemiótica y zoosemiótica. Así la información es un fenómeno físico pero no material, Landauer R. (1991)¹²⁹, asistimos al nacimiento de una física de fenómenos inmateriales. Vida artificial simbólica de la naturaleza, como sistemas de complejidad creciente, incompleta e inacabada, como lo llama C. Maldonado (2023)¹³⁰.

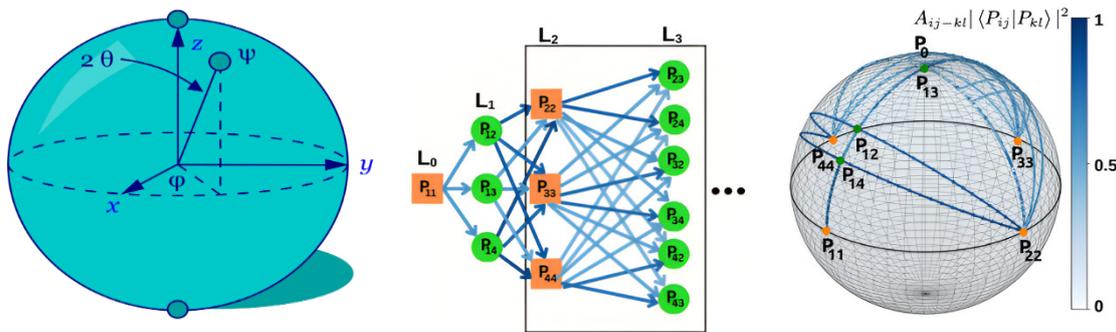


FIGURA 20. COMPLEJIDAD CUÁNTICA

Inteligencia descentralizada de optimización colectiva a la manera redes de enjambre¹³¹, en

126 B. Derrida and Y Pomeau, (1986). Random networks of automata: a simple annealed approximation.

127 Holland J. H. (2004). El Orden Oculto. De Cómo la Adaptación Crea la Complejidad, Fondo de Cultura Económica México.

128 Maldonado, C. E., (2021). Biosemiótica y complejidad. Bogotá. Ed. Universidad El Bosque

129 Landauer, R., (1991). "Information is physical" en Physics Today 4; doi:10.1063/1.881299

130 https://www.youtube.com/watch?v=IP6cx_Q-orc

131 <https://cci.mit.edu/>

los que interactúan modelos de computación cuántica y vida artificial Langton¹³², C. (1989), ver figura de abajo. Procesos con máquinas virtuales que crean algoritmos independientes del programador, aprendizaje profundo, Pagels H.¹³³ (1991). Con implicaciones en los procesos de aprendizajes de máquinas como Machine Learning, Deep Learning y Web Learning.

6. CONCLUSIONES

En el sistema educativo debe formar para lo desconocido, *para su pertinencia* no corresponde al ejercicio de disciplinas fragmentadas, métodos reduccionistas y descontextualizados. La educación debe orientar, de abajo hacia arriba, procesos para superar fronteras disciplinares y que funcionen traslapando modelos entre naturaleza y sociedad, como una totalidad autoorganizada.

Un sistema que complejice la educación debe ser interdisciplinar para que forme seres humanos autónomos y libres, se rompe así con los conceptos tradicionales de adquisición de conocimiento, enseñanza, aprendizaje, autoridad, disciplina, asignaturas, currículo, programas y evaluación. Desarrolla procesos no lineales en escenarios inciertos y lejos del equilibrio pueden generar estructuras imposibles, es muy difícil vaticinar lo que ocurrirá más allá de un cierto horizonte temporal.

Las organizaciones educativas para vida facilitan la flexibilidad y plasticidad, corresponden a juegos estratégicos entre emociones y razones que se debaten entre la aleatoriedad y certeza, inestabilidad y catástrofes; son sistemas adaptativos complejos eco-devo-evo para comprender que el sistema aprende. Corresponde a un vínculo radical entre la biología, la cultura y pedagógica para superar la comprensión de las transformaciones eco sistémicas desde las características no sólo genotipos-fenotipos sino también genético y cultura, expresado en lo cognitivo, comportamental y emocional.

Pero la capacidad para adaptarse tiene límites, complejidad en el borde del caos, si el sistema no puede acomodarse a tales afectaciones su estructura puede transformarse de manera total, temporal o permanente, lo cual depende tanto de la organización y sus nexos con su entorno.

Para simular este tipo de problemas existe la alternativa del modelado con agentes,

132 Langton, C. (1989). Artificial Life. In C. Langton (Ed.), *Artificial Life, SF I Studies in the Science of Complexity*, Vol VI (pp. 1-47). Redwood City: Addison-Wesley.

133 Pagels, H. (1991). *Los Sueños de la Razón: El Ordenador y los Nuevos Horizontes de las Ciencias de la Complejidad*. Barcelona: Gedisa.

simulación computacional para el estudio de una organización y la dinámica de sistemas, que actúa como una sociedad artificial integrada por agentes autónomos y heterogéneos que interactúan de modo no previsible entre sí y nexos con el entorno. Las interacciones entre los agentes son dadas por reglas predefinidas que tienen la capacidad aprender, es una manera robusta de entender las propiedades emergentes auto organizativas.

Los procesos recursivos para aprendizajes matemáticos legítimos favorecen las habilidades lingüísticas y biocomputacionales, por ejemplo en la construcción matemática de fractales, autómatas, redes entre ciencias naturales y sociedad, que tienen el potencial de ser sistemas complejos generativos.

En particular en este artículo se sustenta un modelo curricular para formar en las habilidades Matemáticas, haciendo explícitos los compromisos e intereses de los aprendizajes a través del hábito de la solución de problemas. Busca identificar la existencia de capacidades, habilidades y aptitudes que permiten abordar situaciones de la vida.

REFERENCIAS

- Agudelo, G. y Alcalá R. (2005). Las estructuras disipativas en la evolución.
- Anzola, D. (2017) Self-organization and Social Science, Computational and Mathematics Organization Theory.
- Artin, E. (1963): «Puntos de vista extremados sobre la enseñanza de la geometría», Alianza Editorial.
- Ashby, W. R. (1956). An Introduction to Cybernetics. In London: Chapman & Hall
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H. (1978). Educational Psychology: A Cognitive View. Badillo, E. (2009). Diseño Curricular. Universidad de Costa Rica.
- Bassarab, N. (2002) Manifiesto de la Interdisciplinariedad, La Habana.
- Bateson, G. (1972). Pasos hacia la ecología de la mente, una aproximación revolucionaria de la autocomprensión del hombre. Lohlé-Lumen, Buenos Aires.
- Bak, P. (1996). *How Nature Works: The Science of Self-Organized Copernicus*. www.natureworks.com
- Barabási, A.-L., Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. Science.
- Beane J. A. (2000) Curriculum Integration and the Disciplines of Knowledge. University of Nebraska.
- Bohórquez Arévalo, L. E. (2013). A organização empresarial como sistema adaptativo complexo. Estudos gerenciais, 29.
- Capra, F. (2003). La trama de la vida. Editorial Anagrama, Barcelona.
- Chevelland, Yves; La transposición didáctica, Aique Buenos Aires 1997.
- Cohen, R. (2002). Percolation Critical Exponents in Scale-Free Networks.
- Colom, A. J. (2002). (De) construcción del conocimiento pedagógico. Paidós
- Davis, B. y Sumara, D. (2006). Complexity and Education Inquiries Into Learning, Teaching, and Research. Universidad de Alberta, Canada.
- Derrida, J. (1995). El lenguaje y las instituciones filosóficas. 1-78.
- Derrida B. and Y. Pomeau, (1986). Random networks of automata.
- Duncan J. Watts* & Steven H. Strogatz (1997). Collective dynamics of 'small-world'
- Epstein, J. (2007). Generative Social Science. Princeton University Press.
- Etkin, J. R. (2011). Gestión de la complejidad en las organizaciones.
- Granica, Buenos Aires.
- Fortnow, L. (2023) The Golden Ticket: P, NP, and the Search for the Impossible. Princeton University Press.
- Foucault, M. (1987). Saber-poder. Paidós Buenos Aires.
- Guichard F. (2005). Criticality and disturbance in spatial ecological systems; Trends in Ecology and Evolution.
- Hong Bo Liu y Ajith Abraham, 2009. Chaos and Swarm Intelligence, School of Computer Science China.

REFERENCIAS

- Holland J. H. (2004). El Orden Oculto. De Cómo la Adaptación Crea la Complejidad, Fondo de Cultura Económica México.
- Holling, C. 2011. Resilience and Stability of Ecological Systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*.
- Jhonson, Steven; Los Sistemas Emergentes; Fondo de Cultura Económica, 2009.
- Kauffman, S. (2011). Information Processing and Biological Systems. Springer.
- Langton, C. G. (1990). Complex Systems Group, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos.
- Langton, C. (1989). Artificial Life. In C. Langton (Ed.). Addison-Wesley.
- Landauer, R., (1991). "Information is physical" en *Physics Today* 4.
- Leff, Enrique (2009), *Ecología, Capital e Cultura: a Territorialização da Racionalidade Ambiental*. Editora, Petrópolis, Brasil.
- Lorenzón, E. E. (2020). *Sistemas y organizaciones*. Libros de Cátedra.
- Luhmann, N (1990). *Sociedad y Sistemas: La ambición de la teoría*, U.A. de Barcelona.
- Maldonado, Carlos (2021). *Las Ciencias de la Complejidad son Ciencias de la vida*. Trepén Ediciones, Chile.
- Maldonado, C. E., (2021). *Biosemiótica y complejidad*. Bogotá. Ed. Universidad El Bosque.
- Maldonado, Carlos y Gómez, Nelson (2018) *El Mundo de las Ciencias de la Complejidad*
- Maldonado, C. E. (2014). ¿Qué es eso de pedagogía y educación en complejidad? *Debate Teórico-Methodológico*.
- Maturana, H. y Varela F. (2003). *El árbol del conocimiento*. Lumen, Buenos Aires
- Mandelbrot, B. (2004). *Fractals and Chaos: The Mandelbrot Set and Beyond*, Springer Verlag N.Y
- Martyushev, Leonid M. 2023. *Old Misconceptions and New Breakthroughs, Entropy Production, Entropy*.
- Mason, M. (2008). *Complex theory and the Philosophy of education*. Wiley-Blackwell
- Méndez I. E. Carvajal B.M. (2029). *Una mirada a los fundamentos biológicos de la educación desde la teoría de Santiago*. Universidad de Camagüey, Cuba
- Mitchell, M. (2012). *Biological computation*. *The Computer Journal*, 55(7), 852-855.
- Montealegre, M. (2013). *Matemáticas para la creatividad del I al V, Tiempos Ecológicos*, Colombia.
- Montealegre M. y Vera J. (2022). *Hacia la Pedagogía de la Complejidad*. *Revista Ciencias de la Complejidad*.
- Montealegre, M. Montealegre J. y Vera J. (2024). *Modelado de la sostenibilidad Ambiental*, MAPI3.
- Morin, E. (2005). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro UNESCO*, 2018.
- Newman, M. (2003). *The structure and function of complex networks*. SIAM review.
- Neumann, J.V. (1966) *Theory of Self-Reproducing Automata*, Illinois University Press.
- Nicolis G. and I. Prigogine (1989). *Exploring*

Complexity. W H Freeman & Co

- Nowak M.A. (2006). *Evolutionary Dynamics, explorando la ecuación de la vida.*
- Pagels, H. (1991). *Los Sueños de la Razón: El Ordenador y los Nuevos Horizontes de las Ciencias de la Complejidad.* Barcelona: Gedisa.
- Perkins, D. et.al. (2014). *Hacer visible el pensamiento.* Paidós.
- Perkins, D. (2017). *Educación para lo desconocido,* Ediciones SM, Madrid
- Piaget J. y García R.(1982) *Psicogénesis e Historia de la Ciencia, Siglo XXI.*
- Piaget, J. y Vygotski, L. (1996). *Biología y conocimiento.* *Academia*Pierce, C. (2008). *Pragmatismo.* Ediciones Encuentros, Madrid.
- Prigogine, I. (1998). *El fin de las certidumbres,* Andrés Bello. Andrés Bello, Chile.
- Piaget, J (1982). *Epistemología Genética.* Editorial Debate, Brasil.
- Ruelle, D. (2023). *A Review of differentiable dynamical systems,* IHES France
- Resnick, Mitchel (2001). *Tortugas, Termitas y Atascos de Tráfico.*
- Reyes Gómez, D. A. (2011). *Descripción y aplicaciones de los autómatas celulares.* Harvard University Press.
- Reynoso, C. (2009); *Redes y complejidad: modelos y algoritmos no convencionales en investigación sociocultural*
- Rodríguez Zoya, L., & Pascal , R. (2015).

Modelos basados en agentes. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales.*

- Sipper, M. (1990). *The emergence of cellular computing.* IEEE Computer, 32(7).
- Shannon, C. y Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication.* University Illinois Press.
- Smith E. y Morowitz H.(2016). *The Origin and Nature of Life on Earth,* Cambridge University Press.
- Tall, D. (1996). *Advanced Mathematical Thinking Computer.* Education Warwick.
- Thom, R. (1983). *Mathematical models of morphogenesis.* Ellis Island .
- Turing, A. (1950). *Computing Machinery and Intelligence.* Mind 49: 433-460