

COMPLEJIDAD Y CONSTRUCCIÓN DE CONOCIMIENTO

Eduardo Carrasco, J. Enrique Hernández, Vicente Carrión, Jaime Arrieta, Leonora Díaz-Moreno.

Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (Chile), Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (México), Universidad Autónoma de Guerrero (México) Universidad de Valparaíso (Chile)

ecarrasc@gmail.com, jherza@gmail.com, vicave@gmail.com, jaime.arrieta@gmail.com, leonora.diaz@uv.cl

Palabras clave: complejidad, interacciones, enacción, configuración

Key words: complexity, interactions, enaction, configuration

RESUMEN: La reflexión que aquí se reporta se propone develar una complejidad emergente en la construcción de saber del estudiantado, centrando la atención en la colaboración y convivencia de quienes aprenden. Un saber que va más allá de la comprensión puramente racional de la realidad, se enfrenta al desafío de abordar cada fenómeno como un todo integrado. En este caso las reducciones o constantificaciones de variables, quedan abiertas a permanente revisión y sujetas a mostrarse insuficientes, en tanto que conocemos cada vez más. Mirar desde la perspectiva de sistemas complejos propicia el estudio y descripción de propiedades emergentes que inician con interacciones entre componentes en donde la no-linealidad puede dar lugar a fenómenos en una escala de organización superior. Se constata la relevancia central de una configuración compleja en una propuesta formativo-evaluativa para los aprendizajes matemáticos.

ABSTRACT: Reflection reported here aims to reveal an emerging complexity in the construction of knowledge of students, focusing on collaboration and coexistence of learners. A knowledge that goes beyond the purely rational understanding of reality, faces the challenge of addressing each phenomenon as an integrated whole. In this case, reductions or constantifications of variables, are open to constant revision and subject to appear insufficient, as we know more and more. Looking from the perspective of complex systems promotes the study and description of emergent properties that start with interactions between components where non-linearity phenomena can result in a higher level of organization. The central importance of a complex configuration in a training-evaluative approach to mathematical learning is found.

■ INTRODUCCIÓN

Los sistemas complejos, la teoría del caos, la física de los procesos de no equilibrio, el funcionamiento de los sistemas dinámicos inestables, el surgimiento de conceptos como: autoorganización, autosemejanza, estructuras disipativas, entre otras nociones, propician una visión compleja que posibilita una nueva mirada de lo educativo. Morin (1977) explora la multidimensionalidad del conocimiento, exhibiendo cómo, en el proceso cognitivo, concurren múltiples elementos, a saber, químicos, fisiológicos, eléctricos, energéticos, existenciales, psicológicos, culturales, lingüísticos, ideales, colectivos, personales, transpersonales; que se articulan unos con otros. Advierte que la disyunción y el parcelamiento de los conocimientos no solo afectan la posibilidad de un “conocimiento del conocimiento” sino también a las posibilidades de conocimiento acerca de nosotros mismos y el mundo.

Los sistemas complejos exhiben propiedades emergentes a partir de interacciones entre sus componentes. Por ejemplo, la autoorganización surge de las interacciones entre individuos que exhiben conductas simples. En estos casos, no hay ninguna necesidad de demandar complejidad individual para explicar una conducta colectiva compleja. En efecto ¿Cómo hacen los pájaros para que sus movimientos se mantengan organizados y sincronizados? Cada pájaro en la bandada sigue un conjunto de reglas simples y reacciona a los movimientos de los pájaros en su entorno. Los patrones organizados de la bandada, surgen de estas interacciones locales simples. Ninguna de las aves conoce el patrón global de la bandada. El ave en la delantera no es líder, en algún sentido significativo, solo se encuentra en ese lugar. La bandada se organiza sin un organizador, se coordina sin un coordinador. Es decir, la interacción no-lineal entre elementos simples del sistema, puede dar lugar a fenómenos en una escala de organización superior. Estos pueden ser la aparición de estructuras ordenadas cerca de puntos de bifurcación, de estructuras fractales o de comportamientos temporales periódicos o caóticos.

La idea de autoorganización originalmente se desarrolló en el contexto de ciencias físicas y químicas para describir la emergencia de patrones macroscópicos. Estas ideas han seguido desarrollándose en las últimas décadas. Investigaciones muestran que la autoorganización es inherente a una amplia gama de fenómenos colectivos.

En el estudio de sistemas autoorganizados se configura la simulación de agentes y sus interacciones, conocida por modelación basada en los agentes (MBA). Tiene el propósito de comprender las propiedades de los sistemas sociales complejos a través del análisis de dichas simulaciones.

Al contrastar el método MBA de hacer ciencia con los dos métodos estándar, el inductivo y el deductivo, este se revela como una tercera manera de construir conocimiento.

Aunque los supuestos de los sistemas autoorganizados que se estudian sean simples, las consecuencias de las interacciones pueden no ser tan obvias. Existen ejemplos de agentes interactuando localmente que producen efectos a gran escala. Se denominan "propiedades emergentes" del sistema. Estas a menudo sorprenden por la dificultad de anticipar las consecuencias totales, inclusive de formas simples de interacción.

Durante las décadas de los setenta y ochenta autores como Ilya Prigogine, Herman Haken, Manfred Eigen, James Lovelock, Lynn Margulis, Humberto Maturana y Francisco Varela, exploraron fenómenos de autoorganización en diversos sistemas. En particular a Varela se le

conoce por cuatro líneas de trabajo, se trata de la concepción de la idea de autopoiesis-autoreproducción- en la reproducción celular, la visión representativa del sistema nervioso y la cognición, las ideas sobre el sistema inmunitario y la de establecer correlaciones empíricas entre la práctica budista y el trabajo científico.

Los modelos resultantes de los sistemas autoorganizados comparten ciertas características clave, que son elementos básicos para la emergente teoría de los sistemas vivos.

En lo que sigue y desde esta perspectiva compleja, se abordan aspectos de la naturaleza, de los actos de conocer y de valorar ese conocer, con miras a configurar elementos necesarios de incorporar en lo específico, a la discusión en matemática educativa; se busca provocar discusiones antes que proponer soluciones, se procura determinar “complejidades concurrentes con la construcción de conocimiento científico, su enseñanza y sus aprendizajes, con base en modelaciones” (Grupo de Discusión Relme 29). En otras palabras, se busca capturar el aparecer fenomenológico de la complejidad propia de lo matemático educativo y deconstruir su fenomenología, en orden a configurar intervenciones benéficas que, desde capacidades de diálogo con sus actores y el sistema educativo, se institucionalicen en prácticas de aula y en particular en aulas de matemáticas.

■ REGLAS SIMPLES INTERACCIONES COMPLEJAS

Los patrones formados por las interacciones entre los individuos que componen un sistema (biológico, social, físico, químico entre otros), han sido de gran interés para los científicos desde hace décadas; tal es el caso de parvadas o cardúmenes plasmados como una estrategia para evitar a los depredadores. En ambos casos no existe un líder que los conduzca, sin embargo es posible observar estructuras organizadas que les permiten, como sistema, escapar de los depredadores sin tener bajas o reducirlas al mínimo. Este tipo de fenómenos se llaman descentralizados (Resnick, 2001) y se caracterizan por presentar dinámicas y procesos de organización a partir de reglas locales entre sus elementos, sin la asistencia de un líder que los guíe. Esto es, interacciones simples y localizadas promueven comportamientos complejos a un nivel distinto de organización.

Todo ser vivo se constituye por las interacciones entre los niveles de organización intrínsecos a él; por ejemplo, si se toma a la célula como unidad fundamental de la estructura y desarrollo de un ser humano, se comienza a ver una forma de organización a nivel celular que tiene lugar debido a funciones complejas en un nivel anterior (citoplasma, membrana, núcleo entre otros), luego un conjunto de células comienzan a intercambiar información para especializarse en diferentes tipos de tejidos (en un zoom hacia fuera del cuerpo). Estos tejidos se encuentran en un nuevo nivel de disposición y a su vez darán lugar a otro nivel, organizándose en los diferentes órganos: corazón, pulmones, hígado, entre otros; posteriormente sus interacciones conforman los sistemas que corren a lo largo del cuerpo. La interacción entre los sistemas da lugar al funcionamiento complejo del cuerpo humano. A su vez los grupos de humanos interactuarán socialmente...

Otros casos de interés para los estudios desde lo complejo son la predicción en economía, la evolución de la vida en la Tierra y actualmente en problemáticas educativas. En estos ejemplos es posible encontrar unidades simples (agentes) que al interactuar forman un todo complejo diferente a la agregación de sus partes. Los agentes que existen en un nivel son diferentes a los que

podemos encontrar en otro. Flake (1998) para describir las interacciones entre los agentes propone considerar los siguientes atributos: 1. Paralelismo y Multiplicidad; 2. Iteración, Recursión y Retroalimentación; y, 3. Adaptación, Aprendizaje y Evolución. Resnick (1991) utiliza los acrasiomicetes como un ejemplo para los fenómenos descentralizados, promovidos por interacciones simples entre sus elementos. Estas amebas unicelulares se mueven aleatoriamente, buscando bacterias en el ambiente para alimentarse y reproducirse por división celular. Su comportamiento cambia cuando el alimento escasea, su reproducción se detiene y comienzan a buscar a otras células, formando cúmulos de miles de ellas. En este momento emerge una unidad de segundo orden, sobre la base de la cooperación entre cada célula. Pareciera que su individualidad se pierde y comienzan a actuar como un todo unificado con un único propósito, la búsqueda de comida. Cuando este cúmulo encuentra un lugar adecuado a sus necesidades, inicia un proceso de diferenciación celular, formando un tallo con una masa esférica que contiene esporas en su parte superior, la que posteriormente se rompe lanzando algunas células a un nuevo ambiente. En este recuperan su individualidad de organismos unicelulares, reiniciando el ciclo de vida.

En las líneas anteriores se han dado ejemplos de cómo diversos fenómenos complejos, exhiben interacciones simples, de corto alcance, de unidades que son influidas e influyen en la configuración del medio en el que desarrollan su dinámica. Una de las estrategias principales para la comprensión y caracterización de estos sistemas es la Modelación Basada en Agentes (AMB por sus siglas en inglés). Esta tiene como principal objetivo la descripción y predicción del comportamiento de un sistema dinámico simulando la interacción entre sus partes (llamadas agentes), a partir de reglas básicas que le permiten evolucionar en el tiempo, mostrando un comportamiento macroscópico auto-organizado (Castiglione, 2006).

Hernández, Carrión y Arrieta (2014) en el marco de la RELME 28 (Barranquilla, Colombia) utilizaron la interfaz *NetLogo* como escenario pertinente para la visualización y análisis de las dinámicas mencionadas. Se tomó como ejemplo un modelo computacional que capta el proceso de agregación de amebas a partir de la modelación de secreción de químicos llamados feromonas y movimientos aleatorios en su búsqueda, como resultado se aprecian procesos emergentes similares a los observados en experimentos *in vitro* (Golbeter y Segel, 1977). Este ejemplo muestra que reglas de interacción simples posibilitan la emergencia de unidades mayores, compuestas por los agentes, mostrando la enacción de estados de cooperación en sus movimientos como grupo.

En los fenómenos sociales operan interacciones de un tipo análogo a las que se han mencionado, pero el tipo de agentes con los que se trabaja, se encuentran en un nivel de organización provisto de sistema nervioso, mismo que ya es un sistema de segundo orden y que se constituye en la colaboración de las neuronas. Por lo que los acoplamientos estructurales se dicen de tercer orden (Varela, 1998).

■ UNA MIRADA ENACTIVA AL ACTO DE CONOCER

Subyace a toda aproximación educativa, una concepción del acto de conocer. Actualmente el constructivismo está a la base de las propuestas educativas concibiendo una cognición que construye saber a partir de lo que se vive. Sin embargo las significaciones de este proceso son variadas. En ellas predomina una mente que funciona re-presentando al mundo. Así la mente es tal

en la medida en que re-presenta lo real y a partir de ello configura el actuar de modo exitoso, en las situaciones que se viven. Mundo re-presentado, que es actualizado en la medida que la fidelidad de la representación de lo real, posibilite actuaciones exitosas. Sin embargo las ciencias cognitivas sugieren un funcionamiento de la mente diferente. En este apartado, se aborda la aproximación enactiva (Varela 2000), la cual asume al acto de conocer desde la idea de acoplamiento estructural con aquello que toca vivir.

Varela (2000) entiende a la mente como una totalidad corporal, que no se restringe al cerebro sino al sujeto que vive. Aquí la idea de lo vivo surge como la idea de la entidad autopoiética, donde la mirada no solo es hacia sus componentes biológicos, sino a la organización y la colaboración entre aquello que constituye a lo vivo. Es una organización colaborativa y en constante automodificación que constituye una identidad propia que lo diferencia, a la vez que lo integra, de lo otro. A partir de la interacción de la entidad con los otros y con el medio que le toca vivir, emerge el fenómeno interpretativo. Al decir de Varela “la significación surge en referencia a una identidad bien definida y no se explica por la captación de información a partir de una exterioridad” (Maturana y Varela, 2004, pp. 46).

El acto cognitivo deja de pensarse en términos de lo externo representado en lo interno para obtener respuestas adecuadas, para entender que el conocer se constituye en la medida que quien conoce, desde su organización y estructura interna (tanto biológica como conceptual), se imbrica y es afectado por lo que vive. Toda interacción impacta la organización de lo vivo, la tensiona y por tanto emerge, desde esta interacción, la necesidad de automodificación de la organización cognitiva del sujeto, con el propósito mantener la identidad. Así emerge una idea o significación de lo que se vive, la cual no es determinada por externalidades, sino que es autoconstruida desde la organización propia de aquello que constituye la mente. Es un acoplamiento estructural entre quien conoce y su entorno, lo que posibilita disposiciones particulares para estar en el mundo que se vive. Por ejemplo, el autorretrato de Frida Kahlo, nos aproxima a la construcción propia de su mundo, a la carga de significaciones sobre sí misma que construye la artista en la medida que vive y que interactúa, cognitivamente hablando, con su descripción de sí. El autorretrato de la figura, claramente difiere de la fotografía suya, en la cual, sujetos distintos significan a una mujer diferente.

Lo anterior implica que, a diferencia de posturas representacionistas, la construcción de saber emerge del constante estar en el mundo. Se da a partir del acoplamiento estructural constante en la historia ininterrumpida de interacciones con aquello que toca vivir. En este proceso quien conoce pone en acción, o trae a la mano, lo construido en situaciones similares o relacionadas y que le han permitido ser exitoso. Es decir, enacta (trae a escena) aquel mundo que ha significado en su historia, a la vez que, puesto en relación con lo que vive, se dan procesos continuos de evolución de sus significaciones.

En síntesis, el acto de conocer se entiende como acción efectiva, historia del acoplamiento estructural que enactúa un mundo y que funciona a través de una red de elementos interconectados capaces de cambios estructurales durante la historia ininterrumpida de vida.

El aprendizaje ocurrirá en la vivencia de quien participa de las situaciones de enseñanza. Será a partir de la experiencia del estudiante que este “enacta aquellos conjuntos de ideas y acciones con base en la historia ininterrumpida de coordinaciones con los entornos, con los otros, con los que ha

vivido, así como con los otros que concurren al aula, modificándolos y modificándose en la medida que actúan” (Carrasco, Díaz, Buendía, 2014), construyendo aprendizaje.

Entonces, indagar en la construcción de saber del estudiantado implica centrar la atención educativa en la colaboración y convivencia en que se involucra quien aprende. Construyendo una mirada integral en la cual lo operacional, lo experiencial y perceptual conforman un todo en la actividad de conocer del estudiante. Es buscar una mirada compleja (en el sentido de Morin, 1999), en la cual el aula requiere mirarse como algo entretrejido, que no se puede separar. Así en la búsqueda de construir un saber no racionalizante, se ha de aceptar el desafío de mirar el todo integrado, en el cual las reducciones o constantificaciones de variables, muchas veces necesarias, quedan abiertas a constante revisión y a mostrarse insuficientes en la medida que conocemos más.

En Carrasco, Díaz y Buendía (2014) se busca una aproximación a los fenómenos de aprendizaje relacionados con el uso de figuraciones cartesianas y no cartesianas respecto de fenómenos de variación, que incorpora esta perspectiva. Asumiendo, por tanto, que al construir o trabajar con figuraciones de variación, se constituye una interrelación compleja entre quien figura, con el ambiente, con una figura y con un fenómeno, conformando un espacio epistémico de figuración que es, a la vez, operacional, experiencial y perceptual. Las figuraciones de fenómenos de los estudiantes responden a un diálogo entre actividad y mundos enactados por cada uno. En Carrasco, Arrieta, Pantoja (2015) la noción permite explicar las diferentes construcciones gráficas en torno a un fenómeno de variación y reconocer dos espacios epistémicos viviendo en la actividad escolar.

■ LO COMPLEJO EN UN DISPOSITIVO DE EVALUACIÓN PARA LOS APRENDIZAJES

Interesa en este apartado distinguir marcos de lo complejo para desentrañar elementos que concurren en lo educativo, ilustrar complejidades concurrentes, deconstruir, en particular, el aparecer fenomenológico de lo complejo en una práctica docente. Se analizan dos dispositivos de evaluación, cuyo sentido se aproxima a la valoración en tanto lazo recíproco complejo entre quien enseña y quien aprende, es decir, lo global en la evaluación es más que el contexto: es el conjunto que contiene partes diversas ligadas de manera inter-retroactiva u organizacional entre el estudiante y el docente. Intentando conjugar (distinguir y reunir al mismo tiempo) el desarrollo de cómo y qué aprende el que aprende y cómo y qué enseña el docente (Guzmán, 2012). De este modo, como se sostiene en el apartado anterior, los fenómenos de aprendizaje se construyen en el diálogo, colaboración y convivencia permanente.

La evaluación concurre como un dispositivo que supera la causalidad lineal entre lo que se enseña y lo que se aprende en tanto ocurre de un modo circular abierto, abriendo la posibilidad de constituirse en herramienta para jugarse como un espacio que da cabida a saberes que interactúan y se comportan en una flexibilidad propia y transformadora (Morín, 2003).

En uno de los diseños se recurre a argumentos, procedimientos y herramientas para evaluar el despliegue de la argumentación de estudiantes cuando construyen conocimiento acerca del CO₂, y en el otro, se evalúa una práctica estudiantil de resolución de problemas (Díaz-Moreno, Labarrere y Quintanilla, 2012). El diseño con foco en la competencia científica de resolución de problemas se remite a un protocolo de evaluación estandarizado, no por ello exento de matices de interés. El segundo diseño procura evaluar la competencia de argumentar, teniendo en cuenta que se

despliegan a partir de esta, otras competencias también, en la cuestión de si el CO₂ es ángel o demonio, poniendo en situación de disyuntiva al estudiantado y obligándolo a la vez a tomar partido de manera justificada, en su primera hipótesis. Luego, con datos, información y análisis provenientes de una investigación elaboran una segunda hipótesis, para después contrastarla con la primera, a fin de validar la mejor argumentada. El dispositivo supone una actividad científica escolar que se despliega en dos sesiones. Considera valorar el “despliegue” de argumentaciones estudiantiles concurrentes con: a) cada una de las hipótesis sucesivas; b) la defensa de sus posturas, luego de argumentar su segunda hipótesis; y, c) a propósito de su postura final, fruto del contraste de hipótesis. Este diseño da un paso más allá en la actividad científica escolar que propone, misma que ya incorpora una investigación estudiantil, por lo que conlleva un saber hacer concomitante.

Siendo el propósito del diseño, poner al estudiantado en una situación que le permita debatir con base en un conocimiento científico, su particular configuración lleva a los estudiantes al despliegue de la competencia de la argumentación en el marco de una actividad de investigación, a la vez que como herramienta coadyuvante al desarrollo de su pensamiento científico, como portadora de indicios de unos atributos de sujetos competentes. Esta configuración de actividad formadora y dispositivo de evaluación, hace plausible reportar génesis y momentos de desarrollo de la argumentación científica. De modo particular, el diseño aporta a que monitoricen sus modos de entender y abordar la actividad científica escolar, cuando pide responder de modo global y concluyendo el contraste de conjeturas, la respuesta que sostienen después de todo el proceso. Asimismo conduce a los estudiantes a aprender de su propia práctica indagativa, en marcos de gestión tanto individuales como colectivos.

En suma, para el dispositivo centrado en el despliegue de la argumentación científica, los docentes hacen jugar a ésta un rol complejo y abarcador, a saber, validar internamente la actividad científica estudiantil, al tensionar sus epistemes previas a la experiencia – hipótesis I - con aquellos nuevos entendimientos configurados con base en esa experiencia – hipótesis II . Este dispositivo abre espacio a considerar que dos personas, aún alcanzando el “mismo” nivel de desempeño ante las exigencias de una tarea específica, no lo logran movilizando exactamente los mismos recursos personales, por similares que puedan parecer en procesos evaluativos, debiendo considerarse el grado de variabilidad entre estudiantes.

Se constata, con base en tal diseño, la relevancia central de la configuración en una propuesta formativo-evaluativa, en vistas a propiciar sujetos competentes, la absoluta importancia de la disposición e interrelación de sus partes componentes, mismas que le dan su peculiar forma y propiedades agregadas. Estos componentes se pueden corresponder con instrumentos muy usuales a las prácticas docentes, en aulas de ciencia y de matemáticas, pero que responden a configuraciones que podríamos adjetivar ya sea de retroactivas, (la hipótesis I se vuelve a revisar con base en antecedentes de una acción investigativa), y, de sistémicas (la competencia argumentativa aborda a un quehacer científico escolar en su conjunto). Configuración formativo-evaluadora que responde a una diversidad de elementos, mismos que se juegan en distintos planos y tiempos. Son atributos que pudiesen constituirse en condiciones necesarias, por lo que exigibles, a modelos de evaluación para los aprendizajes.

■ A MODO DE CONCLUSIÓN

Ante el surgimiento de marcos y modos para abordar lo complejo, se avanza hacia un horizonte de reflexión para integrar miradas complejas al fenómeno educativo, con el propósito de distinguir y enriquecer marcos teóricos que concurren a interpretar o explicar lo matemático educativo.

Se constató una convergencia entre distintas disciplinas hacia una nueva forma de construir ciencia, basada en la simulación o síntesis de sistemas complejos, dando cuenta de la complejidad de los sistemas vivos, de una coexistencia entre orden y desorden, complejidad que busca ser aprehendida mediante la simulación de entornos virtuales. En ella emergen los procesos de interacción que, desde “reglas simples” van construyendo “interacciones complejas”. Por medio de dichas interacciones se promueve la auto-organización y la emergencia de patrones que trascienden las características de las unidades y componentes individuales.

La discusión mostró que la centración en procesos de interacción revela configuraciones: autoorganizadas en la interacción celular, enactivas en la interacción cognitiva, y, de crucial disposición e interrelación de partes componentes que dotan de forma peculiar y propiedades agregadas a medios de evaluación de docentes. Son niveles diferentes, que pueden ser interpretados/explicados desde la triada configuración-interacción-emergencia. Surge una pregunta en el mismo sentido complejo: ¿Será posible encontrar regularidades para promover formas emergentes de comunicación, que favorezcan la enseñanza y los aprendizajes matemáticos?

Otro aspecto que se releva en la discusión es la configuración de los elementos que interactúan: ¿Es la disposición de las partes una dimensión relevante de incorporar en nuevas prácticas? Otras disposiciones y modos de interrelación traerán consigo otras formas y otras propiedades.

En el aula, como espacio de interacción en configuraciones particulares de sujetos que enactan aquello que han construido en su historia de vida, emergerán aspectos nuevos y persistirán otros. Responder a por qué algunas enacciones perduran y otras no lo hacen, ayudaría a entender y fortalecer prácticas de aula que promuevan aprendizajes matemáticos, cuando el aula es objeto de innovaciones.

La reflexión estableció como punto de encuentro a la triada Configuración-Interacción-Emergencia. Desde esta tríada se dispone una mirada compleja de los procesos educativos, entendidos estos en dimensiones interactivas entre sujetos, de cada sujeto que conoce y de aquello que se quiere conocer.

■ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carrasco, E., Díaz-Moreno y L., Buendía, G. (2014) Figuración de lo que varía. *Enseñanza de las Ciencias*. 32(3) 365-384.
- Díaz-Moreno, L., Labarrere y A., Quintanilla, M. (2012). Promoviendo sujetos competentes ante la ciencia y sus problemas. Análisis de micro diseños docentes de evaluación. En: *Las competencias del pensamiento científico desde las voces del aula*. ISBN: 978-956-332-719-9. CONICYT-AKA, Finlandia-PUCCH, Santiago de Chile.
- Flake, G. (2000). *The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation*. MIT Press Books.

- Goldbeter, A., Segal, L. (1977). Unified mechanism for relay and oscillations of cyclic AMP in *Dictyostelium discoideum*. *Proc. Natl. Ac.* (74)127-135.
- Guzmán, J. (2012). Evaluación: reflexión desde la complejidad. Instituto Pedagógico “Alberto Escobar Lara” Maracay. Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
- Maturana, H., Varela, F. (2004) *De máquinas y Seres Vivos*. Ed. Universitaria. Chile.
- Morin, E. (1977) *El método I*. Editions du Suil. Portugal.
- Morin, E. (1994) *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa, Barcelona.
- Morín, E. (2003). *Manual de iniciación pedagógica al pensamiento complejo*. Publicaciones Unesco.
- NetLogo itself: Wilensky, U. 1999. NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL.
- Resnick M., (2001). *Tortugas, termitas y atascos de tráfico: exploraciones sobre micromundos masivamente paralelos*, Gedisa, España.
- Varela, F. (2000). *El fenómeno de la vida*. Santiago: Noreste Ltda.