

COMPLEJIDAD EN EL ACTO DE CONOCER: SEGUNDA SESIÓN

Eduardo Carrasco, Vicente Carrión, Enrique Hernández, Paulino Preciado, Jaime Arrieta, Leonora Díaz.

UMCE, UPN, CINVESTAV, UAGRO, U. CALGARY, U. VALPARAÍSO, (Chile)

ecarrasc@gmail.com, vcarrion@upn.mx, jesus.hernandez@cinvestav.mx, aprecia@ucalgary.ca, jaime.arrieta@gmail.com, leonora.diaz@uv.cl.

RESUMEN: Ante las aproximaciones al estudio de sistemas complejos, en Relme XXX surge este GT para integrar miradas complejas al fenómeno educativo, el cual se entiende desde la dimensión social del sujeto que conoce y de aquello que quiere conocer. Se estableció la triada Configuración-Interacción- Emergencia como punto inicial. Esta segunda sesión buscó reflexionar sobre la incorporación de herramientas de análisis de dinámicas complejas, tanto como objetivo de enseñanza, como para abordar el fenómeno educativo, esperando precisar aquellas preguntas indagativas que, desde marcos teóricos actuales, se mantienen, modifican o emergen. Se discutieron metáforas con ejemplos concretos de modelación de fenómenos con dinámicas complejas.

Palabras clave: complejidad, educación, interacciones, en acción

ABSTRACT: In the face of the approach towards complex systems, in the 30th RELME, this work arises to integrate complex views of the educational phenomenon, which is understood from a social dimension of the individual who already knows, and of what he wants to know, as well. The emergency-interaction-structure triad was established as a starting point. The second part attempted to reflect on the use of tools for the analysis of complex dynamics, both as a teaching objective and as a way to tackle the educational phenomenon. It's expected to specify those search questions that, from today's theoretical frameworks, are kept up, are modified or emerge. Some metaphors with concrete examples of phenomenon modeling with complex dynamics were discussed.

Key words: complexity, education, interactions, in action

■ Antecedentes

Este reporte es un nuevo avance de la discusión, en torno a la incorporación de elementos de complejidad al estudio del fenómeno Matemático Educativo, iniciada en el marco del seminario sobre *Complejidad, Identidad y Perspectivas Centradas en Prácticas*, del año 2014 en el posgrado en Matemática Educativa de la UAGRO, que ha continuado en diversos espacios presenciales y virtuales. En particular en Relme, en sus versiones 29 y 30 se ha conformado un grupo abierto a la comunidad. Se parte de constatar que el fenómeno educativo ha sido abordado desde muchas disciplinas como la psicología, la matemática, la sociología, la epistemología, entre otras. Las cuales han ido develando facetas relevantes del proceso de construir aprendizajes. Sin embargo, consideramos que la complejidad del desafío educativo, que en su aspecto más nuclear considera tres aspectos (estudiante, saber, profesor) que interaccionan conformando el triángulo didáctico, ha hecho necesario el desarrollo de herramientas sistémicas específicas del estudio de la enseñanza y aprendizaje de la matemática.

Hoy surgen marcos y modos para abordar el fenómeno educativo desde la visión de los sistemas complejos (Morin, 1999; Koopmans, Stamovlasis, 2016; Davis y Simmt, 2003). Marcos que dejan la ilusión de leyes generales, que se cumplen siempre y en todo lugar, que permitirían una predicción factible y segura, a la vez que asumen la vieja idea del progreso lineal y simple que marchan de la parte al todo o de lo simple a lo más evolucionado y complejo. Se busca, en cambio, construir saber sistémico que permita diseñar dinámicas de actividad, a las que se debe incorporar el estudiante para que construya su saber, en la medida que ejerce actividad intencionada por el educador. Por tanto, el GT se plantea el propósito de distinguir y enriquecer marcos teóricos que posibiliten desentrañar elementos que concurren en lo matemático educativo.

En Relme 29 (Arrieta, Carrasco, Carrión, Díaz, Hernández, 2016), se distinguió lo complejo de lo complicado; lo inter de lo trans y de lo multidisciplinar. En el currículum educacional se distinguió que lo transdisciplinario establece un ámbito de acción superior al de cada una de las disciplinas del currículum, un espacio de interacción abarcadora de saberes para una formación requerida por una nueva ciudadanía. Así emergen como un primer elemento los procesos de interacción que, desde “reglas simples” se van construyendo en “comportamientos complejos”. Del mismo modo, lo evaluativo ha de buscar establecer mediciones aproximadamente razonables, en función de la escala y de la dimensión en la que nos movemos para la reproducción intelectual de los fenómenos que estamos investigando, según los objetivos que en cada caso perseguimos, romper con la precisión absoluta.

La discusión mostró que una mirada compleja va develando diversas configuraciones, tanto en el nivel micro, meso y macroscópico, así como en el trabajo de docentes. Son niveles diferentes que pueden ser explicados desde la triada configuración-interacción-emergencia. Otro aspecto que se releva en la discusión es la configuración de los elementos que interactúan y de cómo interactúan: ¿Es la disposición de las partes una dimensión relevante a la incorporación de nuevas prácticas? ¿Otras disposiciones y modos de interrelación traerán consigo otras formas y otras propiedades? En este

sentido se entiende que al incorporar prácticas intencionadas de modelación matemática en el aula, a modo de afectar positivamente los aprendizajes matemáticos, hay cambios que no concurrirían con las acciones intencionadas. Luego en el aula, como espacio de actividad humana, emergen configuraciones particulares de sujetos, quienes enactan (ponen en acción) aquello que han construido en su historia de vida, donde surgirán aspectos nuevos y persistirán otros. Por tanto, y a modo de síntesis de la discusión del grupo en Relme 29 se establece como punto de encuentro e inicio la tríada Configuración-Interacción-Emergencia, como una tríada que permite una mirada compleja a los procesos educativos, entendidos éstos desde la dimensión social del sujeto que conoce y desde aquello que se quiere conocer.

La reunión del GT en Relme 30 y el propósito de este reporte es avanzar aspectos del estudio de la tríada configuración-interacción-emergencia, desde diferentes propósitos indagativos: Mirada compleja a proceso interactivos que levantan comportamientos emergentes, mirada al aula como un colectivo en el cual emergen propiedades. Estos aspectos se discuten en las siguientes secciones.

■ Estudio de colectivos como un fenómeno complejo

Un colectivo de personas es mucho más que la suma de sus integrantes. Desde el punto de vista de sistemas complejos, un sistema, en este caso el colectivo, no se puede reducir a sus partes. Por ejemplo, una manada de lobos se comporta de forma distinta a muchos lobos actuando de forma individual (Maturana y Varela, 1987). Para el caso de educación en la escuela o la universidad, se ha hecho evidente desde hace mucho tiempo la ventaja del aprendizaje colaborativo. De forma similar, se ha estudiado el aprendizaje profesional de profesores de forma colaborativa. Un ejemplo es el estudio de clases, o *Jugyō Kenkyū*, un modelo de formación docente originado en Japón y extendido a varias partes del mundo (World Association of Lesson Studies, 2016). Otros colectivos relevantes para educación son organizaciones educativas como escuelas o sistemas escolares, así como los sistemas nacionales o regionales de educación. Davis (2008) argumentó la pertinencia del pensamiento complejo en el estudio de sistemas anidados para la educación y la investigación. Por ejemplo, un equipo de profesores puede considerarse como un subsistema de una escuela, que a su vez pertenece a un sistema educativo en una cultura y tiempo específicos. El aprendizaje de colectivos se puede ver a distintas escalas, incluyendo sociedades, culturas, e inclusive especies que cambian (evolucionan) en una escala de tiempo de cientos, miles o millones de años. La discusión que este grupo de trabajo entabló se centró, sin embargo, en colectivos de estudiantes, profesores, e instituciones educativas.

En el caso de educación en matemáticas varios académicos se han interesado en el aprendizaje colaborativo de estudiantes, incluyendo creatividad y resolución de problemas (por ejemplo: Liljedahl, 2016; Towers y Martin, 2015). Una forma de estudiar a los colectivos es despersonalizando las contribuciones de cada individuo. En este sentido Towers y Martin, tomando una postura enactivista, han usado la improvisación en el jazz como metáfora para estudiar colectivos de estudiantes,

considerando conversaciones entre estudiantes sin referencias a quién hace las contribuciones: tratando de estudiar cómo se desarrollan las ideas en el colectivo, independientemente de quién participa.

La literatura sobre colectivos de profesores es abundante, incluyendo comunidades de aprendizaje y otras formas de aprendizaje colaborativo. Sin embargo, estudios considerando a estos colectivos como fenómenos complejos son más escasos. Dos ejemplos particulares en los que se estudia la interdependencia de individuos en colectivos de profesores son los trabajos presentados en Preciado (2011) y Preciado, Metz y Marcotte (2015). En el primero se analizan los papeles y posiciones que distintos miembros en equipos de profesores asumen durante periodos de trabajo colaborativo. Estos papeles y estas posiciones son dinámicos, emergentes y evolucionan durante la interacción. En el segundo estudio, Preciado, Metz y Marcotte usan los conceptos enactivistas de *co-evolución e influencia mutua* para describir cómo tanto profesores como educadores (investigadores) influyen y son influenciados unos con otros durante el trabajo conjunto.

En otro nivel, las organizaciones educativas pueden ser consideradas como sistemas autónomos con capacidad cognitiva (Thompson y Stapleton, 2009). Preciado, Metz y Marcotte (2015) usaron los niveles de conciencia descritos por Mason (1998) para identificar aprendizaje de una escuela y una organización que ofrece formación profesional para profesores, basándose en la forma en que distintos individuos (o instituciones) justifican sus acciones a posteriori. Para el caso de las instituciones, dichas justificaciones pueden ser evidentes en documentos oficiales, así como en las justificaciones que individuos (maestros y administrativos) ofrecen a nombre de las organizaciones a las que pertenecen.

Un tema que surgió dentro del grupo de trabajo fue la dificultad de evaluar el aprendizaje de colectivos. ¿Cómo evaluar un colectivo en el salón de clases en donde la expectativa de aprendizaje de cada estudiante está determinada por un programa de estudios en común? En el caso de profesores en las escuelas, se puede considerar el conocimiento distribuido, como sugirió Boaler (2002), en lugar de considerarlo como un atributo individual. Por ejemplo, en un estudio de 90 escuelas primarias, Askew, Brown, Rhodes, William y Johnson (1997) identificaron una escuela donde los estudiantes mostraron mejor desempeño en evaluaciones en habilidades numéricas. Los profesores en esta escuela no mostraron un conocimiento disciplinar especialmente avanzado, como pudiera esperarse. En su lugar, hubo dos profesores que auxiliaban a los demás maestros. Uno de ellos tenía una especialización en matemáticas y el otro en pedagogía. Esta concepción de colectivos contrasta con el aprendizaje en el aula en donde se espera que cada estudiante desarrolle los mismos conocimientos, tal y como se describen en los programas de estudio. Finalmente, la evaluación del aprendizaje de instituciones educativas también representa retos importantes. Si bien la contribución de Preciado, Metz y Marcotte (2015) sugiere enfocarse en documentos, prácticas y entrevistas que expliquen cómo organizaciones educativas justifican sus acciones pedagógicas, no queda claro cómo aplicar la evaluación en organizaciones a grande escala.

■ Complejidad y su enseñanza: Un ejemplo en Netlogo

El estudio de sistemas biológicos ha requerido la interacción entre la biología y otras áreas de ciencia como la matemática, la física y las ciencias de la computación, convirtiéndolos en ejemplos privilegiados de sistemas complejos (Holland, 1996; Wilenski y Reisman, 2006). Se destacan entre estos ejemplos, los fenómenos descentralizados. Estos refieren a sistemas que presentan un comportamiento, visiblemente regular, el cual carece de alguna forma de liderazgo que lo oriente (Bonabeau, Dorigo y Theraulaz, 1999).

Investigaciones muestran que los y las estudiantes encuentran un reto en la comprensión de sistemas que presentan comportamientos emergentes e indagan sobre los elementos que conforman una forma de pensar descentralizada. Por otro lado, la incorporación de la Modelación Basada en Agentes (MBA) se ha mostrado pertinente para ayudar a comprender las dinámicas presentes en sistemas complejos (Dickes, Sengupta, Farris y Basu, 2016). La MBA tiene como principal objetivo la descripción y predicción del comportamiento de un sistema dinámico complejo 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 y descentralizado (Castiglione, 2006).

En Hernández, Carrión y Carreón (2016), se documenta un largo trabajo en torno a un taller con maestros de matemáticas, para discutir nociones como complejidad, emergencia y estabilidad. La discusión se dio utilizando el ejemplo de agregación de amebas conocidas como acraciomicetes (slime mold) y el estudio de la variación de parámetros en la simulación de su comportamiento con *Netlogo* (Wilensky y Stroup, 1999). El análisis de la variación de parámetros en la evolución del comportamiento de los acraciomicetes, ayudó a desarrollar una comprensión intuitiva de conceptos e ideas de emergencia, es decir, el surgimiento de patrones con estructuras complejas que se da a partir de una serie de reglas simples. El análisis de los argumentos de los profesores participantes mostró que la construcción de los conceptos y razonamientos se dio al interactuar con la simulación y reconocer ciertos tipos de patrones contrastándolos con la dinámica biológica (realidad). De esta manera, por ejemplo, es posible que los profesores reconozcan estados invariantes y estacionarios, patrones que deambulan por toda la pantalla, estados estables y patrones de desplazamiento dejando residuos de feromonas. Cuando se entienden estos conceptos, el desorden en la pantalla se vuelve más comprensible.

Algunas reflexiones sobre esta experiencia han guiado a la creación de instrumentos para la intervención y recolección de datos relacionados con fenómenos colectivos, tal como la propagación de epidemias. La importancia del estudio de estos fenómenos incide en el desarrollo de nociones y habilidades que permitan la configuración de estrategias para la exploración de la naturaleza. Para esto, es crucial comenzar a entender el desarrollo de una forma integrada de pensar en el campo de las ciencias y la vida cotidiana, con el fin de proponer formas de pensar en la complejidad que nos rodea.

■ Preguntas que Emergen

Se van configurando preguntas nuevas desde un paradigma que se orienta desde una mirada compleja: ¿qué preguntas cobran sentido desde los paradigmas existentes? ¿Qué preguntas de las teorías cognitivas o sociales que miran a la educación matemática, tendrán sentido en el paradigma de los sistemas complejos? o ¿Qué preguntas nuevas podrían formularse sobre proceso educativo, con el paradigma de los sistemas complejos? Según Morin (1999), hoy más que nunca los procesos educativos están demandados hacia el desarrollo en el estudiantado de capacidades de innovación, de creación, de construcción de un pensamiento que ha de tener condición de falibilidad, que no sea racionalizante. Luego una pregunta basal sería qué entendemos por pensamiento. Una forma de abordarla es seguir el juego de ficción científica y responder la pregunta ¿es posible que una máquina piense? La respuesta inicial desde el ejemplo de la habitación china (Penrose, 1989), en que una persona encerrada requiere entender preguntas en chino solo con diccionarios y manuales de ese idioma, fue que bastaría comprender las reglas de formación del lenguaje para dar la impresión de hablar chino. Esto implica reducir el pensamiento al manejo de reglas y símbolos de un lenguaje. Sin embargo, la comprensión del acto cognitivo ha cambiado, ampliando su concepción hacia una mente encarnada que conoce en la medida que emerge en ella, desde la interacción con los otros y con lo otro, una nueva estructura -nueva idea- que no se explica solo en el manejo de reglas conocidas. Sin embargo, en la escuela muchas veces las evaluaciones de aprendizaje se limitan a respuestas adecuadas desde las reglas del juego sintáctico de la matemática.

Entonces, avanzar a aprendizajes matemáticos implica ofrecer situaciones de actividad a los estudiantes que promuevan la emergencia de ideas nuevas. Esto, desde la mirada descrita, nos lleva a la pregunta de ¿Cómo descubrir las reglas de juego del aprendizaje en un aula? ¿Cómo buscar estas reglas? En una mirada preliminar en el entorno de clase podemos centrarnos en cuatro componentes: el estudiante, el conocimiento, la evaluación y el colectivo, cada una de estas componentes sugiere un enfoque diferente, pero al mismo tiempo relacionados entre sí. Además, el equilibrio entre ellas ayuda a determinar la efectividad de los procesos de enseñanza que promueven entendimientos.

Un aula centrada en el colectivo se basa en gran medida en la discusión como elemento privilegiado para una interacción que puede facilitar el aprendizaje, en la medida que se conforman espacios horizontales de colaboración. En las acciones y retroacciones que la interacción entre los estudiantes genera, los estudiantes desarrollan una disposición hacia el intercambio productivo con los otros. Éstos permiten que en el pensamiento de los estudiantes emerjan las ideas de aquello que quieren conocer, un resultado que es central para el aula centrada en el alumno. Suma a lo anterior que, desde la discusión, los maestros pueden dialogar con las ideas de los estudiantes y promover el aprendizaje, observando cómo argumentan y levantando acciones tendientes al logro de aprendizajes. Además, dado que el profesor requiere anticipar la gama de concepciones que traen los estudiantes, los puntos en que se puedan tropezar, direccionar al estudiante eficazmente, entre otros aspectos, es necesario por parte del profesor una gran cantidad de información y bastante experiencia. De este modo, aproximarnos al aula desde una mirada compleja consiste en entender al aula como un colectivo de

aprendizaje que responde a las necesidades de aprendizaje de: los alumnos, de los conocimientos que dominan, de la variación de un maestro a otro, como de un aula a otra, de una escuela a otra y de un país a otro.

■ Reflexiones finales

La discusión sobre la complejidad en el acto de conocer ha originado nuevas preguntas sobre el fenómeno educativo, en particular el determinar cómo diversas reglas en el aula promueven dinámicas complejas de aprendizaje, el cómo buscar estas reglas, y el cómo y el qué aprende un colectivo. Desde esta perspectiva la tríada Configuración-Interacción-Emergencia se posiciona como una forma de mirar todas las dimensiones imbricadas en este fenómeno. La configuración da cuenta de las dinámicas intrínsecas a un individuo parte del sistema, fijándose en las acciones que realiza para intervenir su entorno o al entenderlo y explicarlo. La interacción fomenta la estructura social y da pie a la conformación de colectivos que tienen una respuesta emergente ante situaciones que uno solo no podría resolver. En otras palabras, se contemplan diversos niveles de interacción propios del fenómeno educativo, tomando en cuenta la conformación del nivel cognitivo hasta la emergencia de colectivos sociales. En este momento las discusiones e intereses del GT se orientan a la explicación y entendimiento de colectivos tomando al conocimiento como un emergente de la interacción local de sus partes.

Es una mirada que aborda en términos organizacionales en que la relación y la inclusión de un estudiante en aquello que vive. Mirada que no puede separar al aprendiz y/o a quien enseña de aquello a lo que pertenecen. Los bucles cerebro/mente/cultura, razón/afecto/impulso; individuo/sociedad/especie no solo están a la base del fenómeno de aprendizaje y enseñanza, sino que deben incorporarse al proceso de enseñanza con el propósito de evitar que futuras generaciones construyan miradas racionalizantes de la realidad que les toca vivir. Así el acto cognitivo a la base de nuestra acción educativa se entiende, no como re-presentación de un mundo dado, sino que desde un mundo que emerge en la mente de quien se imbrica en la acción, en la vida (Varela, 2000). Se construye saber desde una mente encarnada, que adapta su estructura en todo momento para poder estar. Así, se conoce con otros, con lo otro y desde lo otro.

Por otro lado, al estudiar elementos destacados de la complejidad con ejemplos concretos se ha logrado modelar y comprender cómo un grupo de agentes bajo sus interacciones producen patrones de comportamiento emergentes. La intención de estudiar este tipo de ejemplos se debe al interés del grupo por lograr el desarrollo de una forma de pensar nuestro entorno mediante la complejidad y se conecta con la necesidad de la escuela por buscar situaciones que integren diversas disciplinas y desarrollen habilidades y conocimientos para enfrentar las realidades del ser humano en siglo XXI. De esta forma el GT se posiciona como un grupo que integra dos propósitos en el estudio de la complejidad: una para entender y explicar los fenómenos inmersos en los procesos educativos y por otro como una forma de desarrollar, en la escuela, formas de entender y explicar el entorno desde un

punto de vista científico interdisciplinario. Así que el trabajo futuro apunta a la planeación de estrategias que funcionen para investigar e interpretar los datos empíricos provenientes del fenómeno educativo.

■ Referencias bibliográficas

- Askew, M., Brown, M., Rhodes, V., William, D., y Johnson, D. (1997). The contribution of professional development to effectiveness in the teaching of numeracy. *Teacher Development*, 1(3), 335-355.
- Bonabeau, E., Dorigo, M. y Theraulaz, G. (1999). *Swarm Intelligence: From natural to artificial systems*. Oxford University Press, Nueva York.
- Boaler, J. (2002). The development of disciplinary relationships: Knowledge, practice and identity in mathematics classrooms. *For the Learning of Mathematics*, 22 (1), 42-47.
- Carrasco, E., Hernandez, J., Carrión, V., Arrieta, J., Díaz-Moreno, L. (2016) Complejidad y Construcción de Conocimiento. En E. Mariscal Flores (Ed.), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa* 29, 808-816, México, DF: Colegio Mexicano de Matemática Educativa A. C. y Comité Latinoamericano de Matemática Educativa.
- Castiglione, F. (2006). *Agent based modeling*. Scholarpedia, 1.
- Davis, B. (2008). Complexity and education: Vital simultaneities. *Educational Philosophy and Theory*, 40(1), 50-65, DOI: 10.1111/j.1469-5812.2007.00402.x
- Davis, B., y Simmt, E. (2003). Understanding learning systems: Mathematics education and complexity science. *Journal for research in mathematics education*, 137-167.
- Dickes, A., Sengupta, P., Farris, A.V., y Basu, S. (2016). Development of Mechanistic Reasoning and Multi-level Explanations in 3rdGrade Biology Using Multi-Agent Based Models. *Science Education*. 100 (4), 734-776.
- Hernández, J.E., Carrión, V. y Carreón, G. (2016, May). Decentralized Simulation Phenomena to Foster Mathematical Thinking Development in the Classroom. In M. Takeuchi, A.P. Preciado Babb, y J. Lock. IDEAS 2016: Designing for Innovation Selected Proceedings. Paper presented at IDEAS 2016: *Designing for Innovation, Calgary, Canada* (pg 171-181). Calgary, Canada: Werklund School of Education, University of Calgary.
- Holland, J.H. (1996) *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Perseus Books
- Koopmans, M. y Stamovlasis, D. (2016). Introduction to Education as a Complex Dynamical System. In M. Koopmans y D. Stamovlasis (Eds.), *Complex Dynamical Systems in Education* (pp. 1-7). Springer International Publishing.

- Liljedahl, P. (2016). Building Thinking Classrooms: Conditions for Problem-Solving. In P. Felmer, E. Pehkonen y J. Kilpatrick (Eds), *Posing and Solving Mathematical Problems* (pp. 361-386). Springer International Publishing.
- Mason, J. (1998). Enabling teachers to be real teachers: Necessary levels of awareness and structure of attention. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 1(3), 243–267.
- Maturana, H. R., y Varela, F. J. (1987). *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. Boston: New Science Library/Shambhala Publications.
- Morin, E. (1999). Los siete saberes necesarios para la educación del futuro. Paidós Barcelona.
- Penrose R. (1989). *The emperor's new mind: concerning computers, minds, and the laws of physics*. Oxford: Oxford University Press.
- Preciado-Babb, A. P. (2011). *Conversations held and roles played during mathematics teachers' collaborative design: Two dimensions of interaction* (Doctoral dissertation, Education: Faculty of Education). Recuperado desde <http://summit.sfu.ca/item/12072>, el 11 de Julio de 2016.
- Preciado-Babb, A. P., Metz, M. y Marcotte, C. (2015). Awareness as an enactivist framework for the mathematical learning of teachers, mentors and institutions. *ZDM*, 47(2), 257-268.
- Thompson, E. y Stapleton, M. (2009). Making sense of sense-making: Reflections on enactive and extended mind theories. *Topoi*, 28, 23–30.
- Towers, J. y Martin, L. C. (2015). Enactivism and the study of collectivity. *ZDM*, 47(2), 247-256.
- World Association of Lesson Studies (2016). *World Association of Lesson Studies*. <http://www.walsnet.org/>
- Varela, F. (2000). *El fenómeno de la vida*. Santiago de Chile: Dolmen.
- Wilensky, U., y Stroup, W. (1999). Learning through participatory simulations: Network-based design for systems learning in classrooms. In *Proceedings of the 1999 conference on Computer support for collaborative learning*. International Society of the Learning Sciences.
- Wilensky, U., y Reisman, K. (2006). Thinking like a wolf, a sheep, or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories—An embodied modeling approach. *Cognition and Instruction*, 24(2), 171 – 209.