

Modelización Basada en Agentes y Conceptos de Sistemas Dinámicos Complejos como Conocimiento Previo Útil en la Comprensión de la Evolución en Estudiantes de Ciencias de Escuela Secundaria

Hal Scheintaub, hscheintaub@govsacademy.org

Governor's Academy, and Scheller Teacher Education Program, MIT

Eric Klopfer, klopfer@mit.edu

Scheller Teacher Education Program, MIT

Daniel Wendel, starlogodaniel@gmail.com

Scheller Teacher Education Program, MIT

Traducción al Español:

Cristián Rizzi Iribarren, crizzi@prog-edu.org, PyPE

Resumen

La modelización basada en agentes y los conceptos de sistemas dinámicos complejos pueden ser herramientas prácticas y efectivas para alumnos de ciencias del penúltimo ciclo de la escuela media¹ y del ciclo superior de la escuela media en el aprendizaje de la Física (Klopfer, 2009). Este estudio se basa en esa experiencia, extendiendo el uso de modelos de simulación basados en agentes y sistemas dinámicos complejos de la Física hacia la Biología presente en el currículo de la escuela secundaria. Para este fin, diseñamos e implementamos una secuencia de actividades interactivas sin computadora y de construcción de modelos basados en agentes, que habilitarán a los estudiantes a vivenciar y experimentar con los mecanismos que conducen a la emergencia de fenómenos globales a gran escala a partir de acciones e interacciones de agentes a menor escala.

Al incluir la construcción de modelos (en muchos casos a través de la programación de computadoras) en el proceso de aprendizaje, los estudiantes fueron capaces de participar en un espectro amplio de interacciones con simulaciones (Klopfer, 2009). Nuestro objetivo aquí fue determinar si estas actividades de modelización proveerían el conocimiento previo correcto (Schwartz, 2007) que cuando se acompañara con un andamiaje apropiado y con recursos de aprendizaje, ayudaría a los alumnos a superar conceptos erróneos y construir una comprensión más robusta acerca de los procesos evolutivos.

Análisis sobre estrategias de programación iniciales de alumnos, revelaron una necesidad de instrucción en diseño sistemático y habilidades para resolución de problemas. El proceso de ensayo y error empleado por varios estudiantes era ineficiente, pero era lo suficientemente bueno para ayudarlos a descubrir un concepto importante de los sistemas dinámicos; que en

¹ Alumnos de entre 13 y 15 años de edad

algunos sistemas, pequeños cambios en el código (comportamiento) podía resultar en cambios dramáticos en los patrones a nivel sistémico.

Para evaluar cómo el acto concreto de la programación afectaba la comprensión sobre el fenómeno de emergencia, se les pidió a los alumnos que explicaran cómo ocurrieron esos patrones en sus simulaciones. Mientras que la mayoría de los estudiantes lograron una comprensión coherente de los sistemas dinámicos complejos (Jacobson & Wilensky, 2006), más del 85% de los alumnos en este estudio fueron eventualmente capaces de hacer conexiones a través de la escala describiendo como los patrones de población emergían a partir de comportamientos e interacciones individuales entre agentes. Discusiones orales y escritas post-actividad revelaron que la experiencia de simulación probó ser el conocimiento previo correcto para entender la evolución.

Palabras clave

Simulaciones, sistemas complejos, programación, conocimiento previo, evolución

Marco Teórico

Tanto simulaciones sin la computadora como también con ella han sido usados en las clases para explorar cómo los sistemas dinámicos complejos evolucionan a lo largo del tiempo (Scheintaub, 2009). Estas simulaciones pueden apoyar nuevas formas de interacción en clase y pueden servir para catalizar el anclaje con ideas complejas, fomentando las habilidades de resolución de problemas y de pensamiento de orden superior que se necesitan en el aprendizaje de las Ciencias y la Matemática (Wilensky & Stroup, 1999; Collella, 2001).

Los modelos computacionales basados en agentes son especialmente adecuados para el aprendizaje de ciencias por indagación (Jacobsen & Wilensky, 2006). Las simulaciones pre-diseñadas pueden aportar a los estudiantes visualizaciones accesibles, entornos de aprendizaje inmersivos y oportunidades para analizar datos a partir de experimentos virtuales. De todos modos, no le brindan a los estudiantes el conocimiento que se logra al construir simulaciones, parte importante de la práctica científica; ni les permiten acceder a la libertad de expresar sus ideas o sus intereses sobre un fenómeno dado, un motivador importante del aprendizaje sustentable necesario para el aprendizaje significativo de las ciencias (Edelson & Joseph, 2001). A través de la inclusión de la construcción de modelos (en muchos casos a través de la programación de computadoras) en los procesos de aprendizaje, los estudiantes son capaces de participar en un amplio espectro de interacciones con simulaciones (Klopfer, 2009), aportándoles de esta manera experiencias que sirvan como “conocimiento previo correcto” para apoyar el aprendizaje futuro (Schwartz, 2007). El pensamiento algorítmico involucrado en la programación enfatiza los procesos más que los factores (Cohen & Kanim, 2007) y la programación les provee a los estudiantes de un medio de expresión que es preciso y compacto (Sharin & diSessa, 1993). Los usos siguientes de simulaciones proceden del conocimiento experiencial de su construcción, proveyendo conocimiento previo útil con el cual los estudiantes pueden construir nuevas comprensiones.

A través de recientes avances en la ciencia y en la medicina, junto con la abundancia de observaciones y experimentos en los últimos 150 años, se ha reforzado el rol de la evolución como el principio organizador central de la biología moderna (Ayala, 2008), enseñar evolución ha probado ser extremadamente dificultoso y los errores conceptuales abundan (Caldwell et al, 2006). Se encontró que las actividades interactivas ayudan a los estudiantes a reconocer muchos errores conceptuales y a comprender por qué la evolución es considerada una de las teorías científicas más robustas (Flammer, 2006). Para ser más efectivas, las actividades interactivas deben vincularse construirse sobre la base de una idea unificada. Para el aprendizaje de la evolución, el concepto de emergencia en sistemas complejos debe ser uno de los temas. Puede facilitar la comprensión de la evolución aportando un tema unificador a través de distintas escalas de tiempo, espacio y tamaño (Holland, 1996; Solé & Goodwin, 2000). Entonces, hemos diseñado e implementado una secuencia de actividades de construcción de modelos basados en agentes fuera de la computadora que permitirá a los estudiantes vivenciar y experimentar con los mecanismos que conducen a la emergencia de fenómenos globales de gran escala a partir de acciones e interacciones de agentes a pequeña escala.

Quisimos estudiar si estas actividades podían proveer el conocimiento previo correcto cuando se las combinaba con los andamiajes y recursos de aprendizaje apropiados, para ayudar a los estudiantes a superar los errores conceptuales y construir una comprensión robusta de los procesos evolutivos. Aquí informamos sobre el desarrollo, implementación y resultados de una serie de actividades con alumnos de Biología de 9no grado sobre la comprensión de los procesos evolutivos.

Contexto y Métodos

Hemos utilizado *StarLogo TNG* (Klopfer et al., 2009) como herramienta de modelización y simulación para muchas de estas actividades. *StarLogo TNG* ha probado ser una herramienta efectiva para introducir la programación de modelos basados en agentes a estudiantes de escuela secundaria (Klopfer & Scheintaub, 2008; Klopfer, 2009). *StarLogo TNG* se apoya en la tradición de los lenguajes basados en Logo diseñados para facilitar el desarrollo y el estudio de sistemas simulados en clase. Incluye un lenguaje de programación gráfico que disminuye la barrera de entrada a la programación (Begel, 1996), y los mundos 3-D de los videojuegos que proveen la motivación necesaria a estudiantes y docentes para experimentar la potencia de la programación.

Aquí mostramos una serie de actividades de programación y simulación y los resultados en términos de cambio conceptual, en relación al currículo de Biología durante un período de dos años en una escuela en las afueras de Boston, Massachusetts en Estados Unidos. Pueden encontrar detalles adicionales de la implementación en “Biology Curriculum” (Currículo de Biología) en <http://education.mit.edu/drupal/starlogo-tng/learn>. Las fuentes de datos en este estudio incluyen: a) Múltiples observaciones y análisis de clases b) Productos curriculares generados por los estudiantes c) Blogs de los estudiantes, discusiones y autoevaluaciones, y d) encuestas a los estudiantes pre- y post-implementación.

Los estudiantes usaron *StarLogo TNG* para programar las acciones de agentes y observar los patrones a nivel sistémico en las simulaciones de sistemas complejos que ellos construyeron. En estas tres primeras actividades, (Ver Tabla 1) los estudiantes aprendieron a construir modelos y utilizar simulaciones. Adquirieron una serie de competencias técnicas y también generales. Los experimentos simulados proveen ejemplos concretos del concepto abstracto de emergencia. Mientras que las actividades están basadas en contenido relevante, ese contenido no es el objetivo de aprendizaje. El contenido no es trabajado hasta la cuarta actividad donde los estudiantes aplican su experiencia con simulaciones y su conocimiento trabajado de emergencia a sus esfuerzos por comprender los fundamentos de la evolución.

Actividad 1- Introducción a la Programación en un entorno lúdico: La primer actividad de programación, Vants (“Virtual Ants” por “Hormigas Virtuales”), presenta a los estudiantes la idea de que un programa puede definir una serie de reglas de comportamiento para un agente (Figura 1). Se les enseña a modificar un programa y son motivados para crear resultados visualmente placenteros. A través del involucramiento en esta actividad, los estudiantes ganan experiencia de primera mano respecto del concepto importante de emergencia en sistemas complejos. Ellos ven cómo pequeños cambios en las reglas de comportamiento de los agentes puede llevar a cambios más profundos en patrones de sistemas observables.



Figure 1. Pequeños cambios en las condiciones iniciales y en el movimiento de los agentes le otorgan un aspecto visual diferente. El patrón en la figura de la derecha es generado a partir de una muy pequeña variación en el código que produjo el patrón de la izquierda.

Actividad	Emergencia– patrones de sistema observables a partir de reglas simples	Conceptos en Biología
Vants (Virtual Ants, Hormigas Virtuales)- Introducción a la programación y la simulación	Emergen patrones en el terreno a partir de reglas simples de los agentes sobre cómo girar y marcar el terreno	Interacciones Agente/Entorno, Agente/Agente, Entorno/Agente
Crecimiento poblacional sin computadora y con SLTNG	Curvas de crecimiento exponencial emergen a partir de reglas simples para nacimiento y muerte	Tasa de nacimiento, tasa de mortandad, Patrones reconocibles de crecimiento poblacional
Interacciones en la comunidad – los estudiantes construyen una comunidad sustentable de conejos/zanahorias	Gráficos poblacionales cíclicos a partir de acciones e interacciones entre agentes	Comunidad como un conjunto de poblaciones interactuando Relación predador/presa Conceptos básicos de la dinámica de ecosistemas
Laguna - una secuencia de simulaciones con SLTNG para los fundamentos de la microevolución	Un cambio en la frecuencia de genes en una población emerge a partir de diferencias pequeñas y aleatorias en acciones genéticas determinadas por agentes individuales en la comunidad.	Población como unidad de evolución La evolución es el cambio en la frecuencia de genes de la población

Tabla 1. Simulaciones, Emergencia y Conceptos Curriculares

Actividad 2 – Crecimiento Poblacional: Esta sección comienza con una simulación de mesa donde monedas dan lugar a una serie de reglas simples para la reproducción (Collella et al., 2001). Los alumnos grafican curvas de la población de monedas y discuten cómo el cambio en las reglas afectará los resultados. Cuando los alumnos representan ese cambio en las reglas en una simulación en *StarLogo TNG* (Figura 2), ven cómo emergen distintas curvas a partir de reglas sobre nacimiento y deceso. Como también en la actividad anterior, ellos ven cómo pequeños cambios en esas reglas afectan los patrones de crecimiento poblacional.

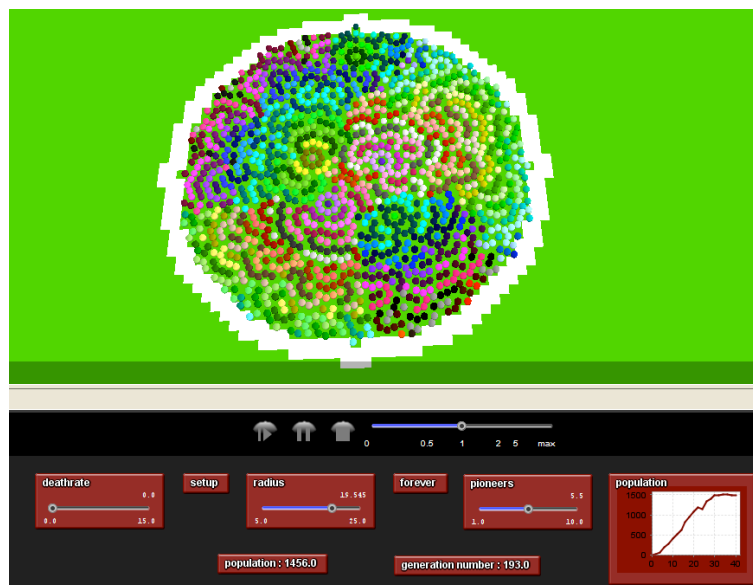


Figura 2. Los alumnos usan deslizadores para cambiar valores de variables que afectan la dinámica del crecimiento poblacional. Las discusiones revelan cómo el área del círculo puede representar los recursos disponibles

Actividad 3- Interacciones en la Comunidad – Construyendo una comunidad consumidor-productor sustentable: Esta unidad referida a programación (pensada para durar una semana y para que los estudiantes hagan a su propio ritmo) les da experiencia y los ayuda a desarrollar el concepto de emergencia. Los alumnos construyen una comunidad ecológica virtual de productores (zanahorias) y consumidores (conejos), donde pueden hacer experimentos trabajando con un conjunto de instrucciones que van cambiando desde muy estructuradas hasta más abiertas. Los alumnos programan comportamientos esenciales para los conejos (moverse, comer, reproducirse) y zanahorias (esparcir la semilla, morir). Se focalizan en los individuos y las interacciones; no se define ningún comportamiento a nivel de la población. Mientras que la atención de los alumnos estaba centrada en las acciones de los agentes en los paneles de programación (Figura 3) de sus simulaciones, un patrón de organización a nivel macro emergió en el mundo 3D en la pantalla (Figura 4).

Igual que en las dos actividades previas, ellos ven cómo sus acciones e interacciones programadas a pequeña escala en los individuos resultaron en un patrón emergente ordenado a nivel de la población. Interactuando en y con las simulaciones en las actividades 2 y 3 les dio a los estudiantes una experiencia inmediata con el concepto de emergencia que puede ser codificado y recuperado luego en su estudio sobre la evolución (Schwartz, et al, 2005).

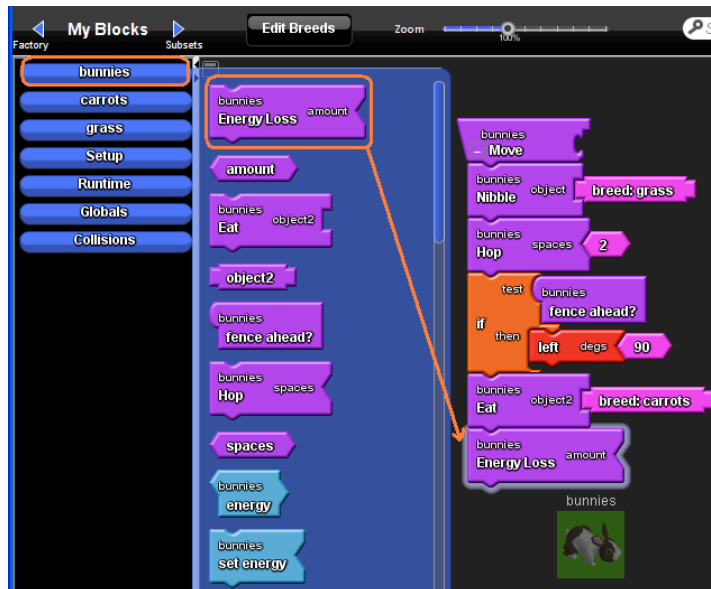
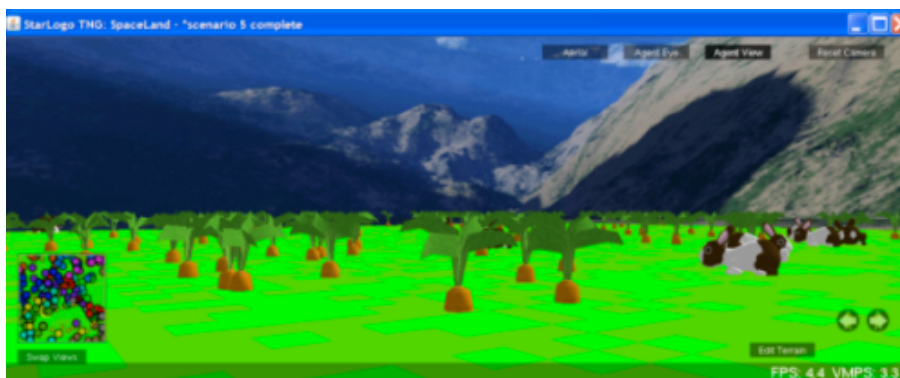


Figura 3. Captura de pantalla del lenguaje de programación StarLogo TNG utilizado por los alumnos para construir una simulación sobre interacciones en una comunidad.



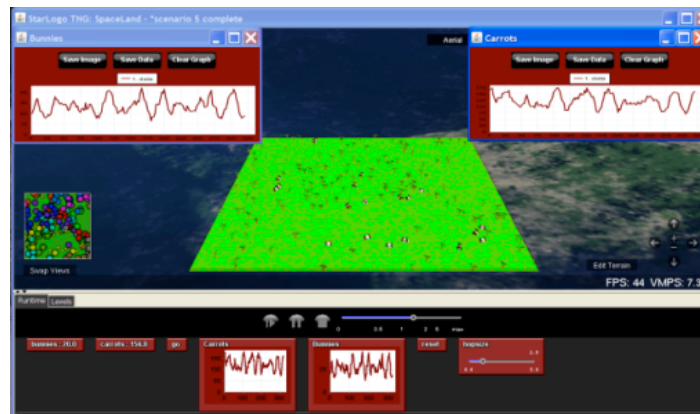
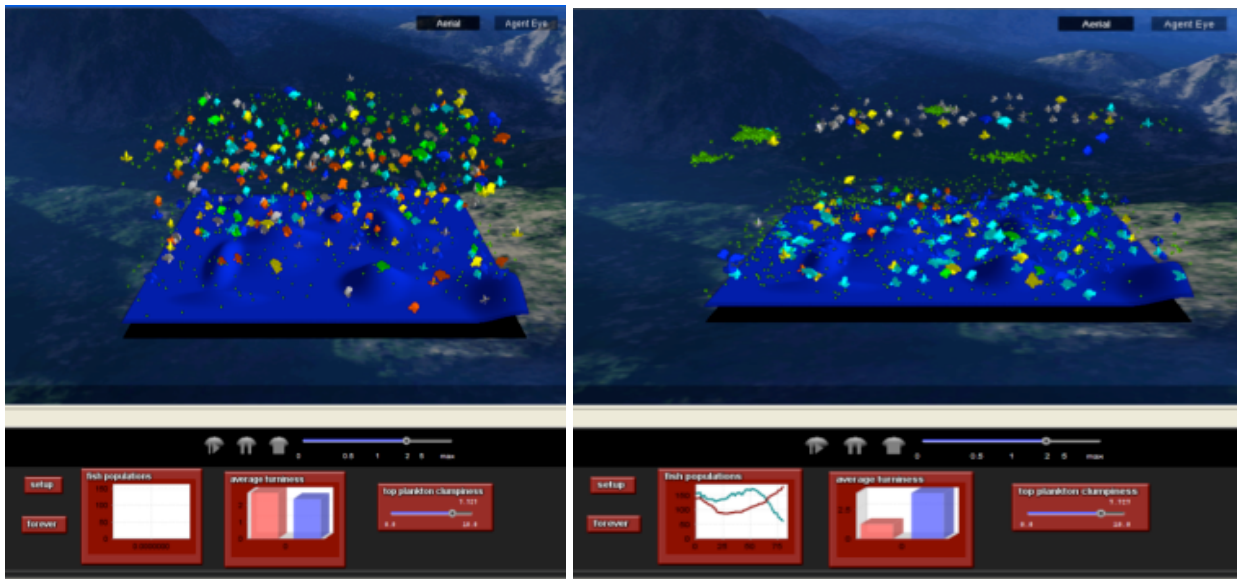


Figura 4. Captura de pantalla de la simulación de interacciones en una comunidad desde la perspectiva de primera persona (arriba) y tercera persona (abajo). Las dos vistas le permiten a los alumnos experimentar la simulación tanto como participante como observador.

Actividad 4 – Evolución: Los errores conceptuales sobre la evolución están largamente difundidos (Caldwell, et al, 2009). El hecho de que la evolución sea un tema unificador en la biología moderna hace que sea crítico trabajar sobre esos errores conceptuales. Para abordar uno de esos errores conceptuales, “los individuos evolucionan”, desarrollamos una serie de actividades de simulación basadas en agentes que potencian la experiencia concreta de programación y del aprendizaje sobre sistemas complejos de los estudiantes a partir de las actividades anteriores. Las simulaciones sobre evolución se focalizan en peces en una laguna. La primera de las series es esencialmente la misma simulación que la de los conejos y las zanahorias que los alumnos construyeron anteriormente. Sirve como revisión para cómo, a partir de acciones e interacciones entre peces y plancton en una laguna, emergen ciclos fuera de fase en una población de productores y consumidores. En la segunda de las series, dos variedades de peces en una población inicial separada en el tiempo, una variedad vive cerca de la superficie de la laguna y otra en el fondo. Hay dos variedades de plancton en la laguna. Uno de los tipos de plancton vive mejor cerca de la superficie y otra cerca del fondo. El observar las interacciones entre agentes para explicar los patrones de población ayuda a los estudiantes para ver eventualmente cómo una variedad de peces prefiere el plancton que crece cerca de la superficie y la otra prefiere la que crece en el fondo. En la tercera simulación se presenta el concepto de evolución como el cambio en la genética de una población. En esta simulación hay un sólo tipo de plancton y una población inicial de peces de diferentes colores. Tanto los peces como el plancton están distribuidos de manera aleatoria en la pantalla. El movimiento de los peces también es programado para que sea de manera aleatoria. El color de los peces es programado como una característica ‘genética’ que pasa de generación en generación pero que no tiene valor de supervivencia. Los estudiantes reconocen que la ahora familiar dinámica que conduce a los ciclos en la población causa la eliminación de cierto color de peces en la población cuando el alimento es escaso. Cuando escasea el alimento, la supervivencia de un color particular de peces depende aleatoriamente de su posición cerca del plancton. Ellos ven cómo ocurre la evolución, en este caso sin selección natural. En la simulación final (Figura 5) el color está vinculado a un rasgo que afecta la supervivencia, y la evolución procede a través de la selección natural y los procesos aleatorios vistos en la tercer simulación.



Figuras 5a y 5b

Figura 5. Una población diversa de peces (5a) evoluciona en dos (5b). Los peces en la superficie de la laguna están mejor preparados para buscar en las formaciones de plancton mientras que las características de los peces cercanos al fondo de la laguna les permite alimentarse del plancton que está disperso allí.

Los errores conceptuales acerca de la evolución a menudo se centran en las razones por las cuales los organismos cambian con el tiempo (Caldwell, 2006). Para evitar esos errores conceptuales mantenemos a los estudiantes activamente involucrados con las acciones concretas que ocurren y en la apariencia de sus simulaciones. Ellos llevan a cabo tareas concretas que los ayudan a focalizarse alternativamente en el comportamiento de los agentes y en los patrones poblacionales. En estas actividades se integró un análisis asistido por el instructor para ayudar a los estudiantes a ver cómo la evolución en la población de peces emerge a partir de:

- la aleatoriedad – en las condiciones iniciales y en el movimiento.
- la variación genética - tal como se manifestó en comportamientos programados reconocibles de esos peces.
- la selección – que derivó de interacciones comprensibles entre los peces y el plancton.

Datos y Resultados

Tanto el proceso de indagación de los estudiantes como los resultados de su aprendizaje fueron sujetos de este estudio. Un docente/investigador y observadores externos realizaron múltiples observaciones de clase durante todo el año escolar. Tanto los datos que resultaron de la observación como los resultados de las pruebas escritas, productos curriculares generados por los estudiantes, los blogs, las autoevaluaciones y los cuestionarios, sirvieron como fuentes de datos. Los datos detallan cómo el trabajo guiado, mostrado aquí, permite a los alumnos hacer conexiones, dar cuenta de la emergencia de los patrones poblacionales in los sistemas biológicos y evitar los errores conceptuales que tan a menudo ser observan en las explicaciones que los estudiantes brindan sobre la micro-evolución.

Actividad 1- El análisis de estrategias previas de programación de los estudiantes revelaron una necesidad de instrucción en el diseño sistemático y en las habilidades para resolución de problemas. Esta necesidad fue satisfecha en actividades posteriores con soporte adicional y hojas de trabajo estructuradas. El proceso de ensayo y error empleado por la mayoría de los

estudiantes fue ineficiente, pero lo suficientemente bueno como para ayudarlos a descubrir un principio importante sobre los sistemas complejos; que en algunos sistemas, pequeños cambios en el código (comportamiento) pueden resultar en cambios dramáticos en los patrones resultantes a nivel de sistema. Los estudiantes apreciaron la libertad para experimentar y reaccionaron con entusiasmo cuando uno de sus pequeños cambios en el código cambiaba patrones observables en sus pantallas. El entusiasmo generado por esta actividad ayudó a establecer a StarLogo como herramienta de aprendizaje preferida para introducir a la modelización como una forma de aprendizaje.

Actividad 2 – Esta actividad básica de crecimiento poblacional comenzó como un ejercicio físicamente concreto de conteo y distribución de monedas en un plano, pero su análisis y extensión a StarLogo lo convirtió en matemático y virtual. Los puentes entre modelos físicos a simulación en computadoras, y entre conteo concreto y análisis matemático abstracto, fueron diseñados para ayudar a establecer la modelización como una forma de aprendizaje para los estudiantes. La naturaleza personal de las respuestas post-actividad hablan de la efectividad de esta estrategia. Por ejemplo, uno de los estudiantes escribió, “Mi gráfico poblacional tiene forma de “S”. Mi gráfico se compara con los de otros grupos porque es exponencial, lo cual significa que tiene un punto extremo y todo el gráfico es una asíntota, en forma de “S”. Aquí vemos otro caso sobre la idea de un estudiante en el proceso de modelización. “Una modificación que podría mejorar este modelo para que represente mejor los sistemas vivos podría ser que las monedas puedan ser comidas por los predadores, y no (re)producidas siempre la máxima cantidad.”

Actividad 3 – A partir de los resultados de la Actividad 2, los autores sabían que los estudiantes podían utilizar la modelización y el análisis de modelos para el aprendizaje. Estaban listos para ver el acto concreto de la programación impactando la comprensión de los estudiantes sobre el fenómeno de emergencia. La prueba de su comprensión fueron las explicaciones escritas sobre cómo se producía el fenómeno cíclico de la población de conejos y zanahorias. Esta fue una prueba difícil porque una comprensión coherente de sistemas complejos deja afuera a la mayoría de los estudiantes (Jacobson & Wilensky, 2006). Una análisis detallado de las explicaciones de los estudiantes revelaron que más del 85% de los estudiantes en este estudio realizaron conexiones describiendo claramente cómo lo cíclico de las dos poblaciones emergía a partir de comportamientos e interacciones de agentes individuales. Ellos notaron que después de que los conejos habían comido la mayoría de las zanahorias, la mayoría de ellos murieron. Para que la comunidad pudiera continuar, algunos conejos debían ser lo suficientemente afortunados como para quedar en la región donde hubieran algunas zanahorias. El alto porcentaje de estudiantes realizando conexiones es notable porque a menudo los estudiantes tienen dificultades para ver los mecanismos que conducen a la emergencia de fenómenos globales a gran escala a partir de interacciones entre agentes a pequeña escala (Chi, 2005, Wilensky & Resnick, 1999). El análisis de las explicaciones reveló la especificidad de algunas de esas dificultades. Un estudiante no fue capaz de ver la naturaleza recíproca de las interacciones entre las poblaciones de conejos y zanahorias. Escribió lo siguiente, “El ritmo de las zanahorias y los conejos está controlado principalmente por los conejos.” Otro estudiantes no sentía que la simulación idealizada representaba el mundo real. “¡La naturaleza es la naturaleza! No hay un patrón sistemático como en nuestras simulaciones de StarLogo. En la naturaleza, lo que pasa, pasa. Es esporádico y no hay ningún patrón.” Estos resultados son significativos no solamente porque la secuencia programación/simulación dio ese alto porcentaje de estudiantes que demostraron una buena comprensión funcional del concepto de emergencia, pero también por exponer las fuertes creencias acerca de cómo el mundo funciona que perduran en algunos estudiantes aún después de haber participado en la actividad.

Además, la actividad estimuló las conexiones a partir de la experiencia transversal en la clase de ciencias. Las notas salientes de una discusión en una clase con un estudiante del primer año

de la escuela secundaria reveló conexiones con los sistemas complejos similares a algunas hechas por estudiantes universitarios (Goldstone & Wilensky, 2008). Uno de los alumnos de los primeros años de la escuela secundaria observó, “El patrón de oferta y demanda y de las zanahorias y conejos es relativamente el mismo”. Otro agregó, “cuando hay muchos conejos la oferta de zanahorias es baja y la demanda alta.” En la misma conversación hubo un intercambio acerca de la naturaleza intencional o no intencional de las interacciones. Cuando uno de los estudiantes dijo, “Se trata de múltiples organismos trabajando en forma conjunta.” Otro estuvo de acuerdo pero agregó, “Ellos se ayudan mutuamente inconcientemente porque están tratando de ayudarse a sí mismos”.

Actividad 4 – En la Actividad 4, los estudiantes aplicaron su experiencia con las simulaciones y su conocimiento práctico del concepto de emergencia a la comprensión de la evolución. El marco para estas simulaciones fue una laguna con peces y plancton. En la secuencia de simulaciones se desarrollaron sistemáticamente aspectos clave del proceso. Esta serie de actividades comenzó en un lugar conocido, la interdependencia en poblaciones de productores y consumidores. En la segunda simulación, la variedad en la población de plancton hizo más compleja esa interdependencia. En la tercera simulación se incluyó variabilidad por herencia y en la cuarta por selección natural. Las guías de actividades y las indicaciones orales ayudaron a guiar la atención de los alumnos hacia la acción de los agentes. Los estudiantes trabajaron con experimentos simulados, recolectaron datos y contestaron preguntas. Estas tareas se constituyeron en la base de la experiencia concreta a la cual los estudiantes acudirán cuando desarrollen una explicación sistemática de la evolución.

Una de las variables programadas en la cuarta simulación fue el comportamiento de un pez luego de haberse alimentado con plancton. En la población inicial, algunos peces giraron mientras que otros continuaron nadando en línea recta. El comportamiento del plancton también varió. El plancton que crecía en la superficie lo hacía en forma agrupada mientras que el que crecía en el fondo lo hacía de manera dispersa. El crecimiento del plancton y el comportamiento giratorio de los peces se transmitía a sus crías. Los peces que viraban luego de haberse alimentado estaban mejor preparados para sobrevivir en la superficie. Los peces que nadaban en línea recta sobrevivían mejor cerca del fondo. Eventualmente, la población inicial de peces evolucionó en dos poblaciones, una que giraba en la superficie y otra que nadaba en línea recta cerca del fondo.

Las discusiones orales y escritas post-actividad revelaron que los estudiantes tenían un buen conocimiento práctico sobre los procesos evolutivos a nivel micro involucrados en la evolución simulada. Los estudiantes sabían que algunos peces tenían una característica que los llevaba a girar más que otros. Algunos peces tenían una característica que los llevaba a nadar más rápido que otros. Ellos vieron que luego de un tiempo la población inicial mixta evolucionó en dos poblaciones distintas.

En una discusión guiada, la clase fue capaz de explicar cómo ocurrió esta evolución. Uno de los estudiantes registró las partes más interesantes de la discusión. Algunas de esas frases aparecen en esta sección. Los estudiantes comenzaron su análisis con un concepto desarrollado inicialmente a partir de la simulación de los conejos y las zanahorias en la Actividad 3. En esa simulación ellos notaron que los conejos que sobrevivían en regiones de la simulación donde había zanahorias. El ser entrenados en ver a los productores los ayudó a ver que, “El (plancton) de la superficie está agrupado, el del fondo está disperso”. Esta observación es importante porque muestra que los estudiantes se dieron cuenta que aunque fue el pez el que evolucionó, la variabilidad en el entorno ayudó a direccionar esa evolución. Luego su atención se centró en el pez. Ellos vieron que, “Los peces se separaron en dos poblaciones; en la superficie y en el fondo. Esto fue porque los peces sobrevivieron donde había alimento. Parece como si hubieran seguido su fuente de alimento.” Aunque aquí está sólo implícito, es claro que los estudiantes reconocieron que los peces sobrevivieron donde había alimento que pudieran comer. El comportamiento alimentario vino primero, luego la supervivencia. La

simulación ayudó a los estudiantes a evitar el error conceptual tan común de que la habilidad para comer un tipo particular de alimento evolucionó para ayudar al animal a sobrevivir. Cuando se los interrogó para que especificaran los comportamientos que afectaba la supervivencia, ellos contestaron, “Los peces en la superficie giraban más y los del fondo giraban menos.” Cuando se les preguntó por qué, ellos razonaron los siguiente, “Los peces sobrevivientes están mejor adaptados a su entorno. El hecho de girar luego de haberse alimentado funciona donde el plancton está agrupado. El nadar en línea recta y rápido funciona donde el plancton está disperso.” El camino específico que guió su razonamiento fue registrado de esta manera. “Si uno es giratorio y lo suficientemente afortunado para estar en la superficie puede sobrevivir y reproducirse. Si uno es giratorio y está en el fondo, es muy probable que muera. Si uno es rápido y lo suficientemente afortunado para estar en el fondo puede sobrevivir y reproducirse. Si uno es giratorio y está en la superficie, probablemente muera. Con el paso del tiempo, esto resulta en peces más rápidos en el fondo y peces con capacidad de giro en la superficie. Esto es porque los sobrevivientes le transmiten sus genes a sus crías.” Esta explicación revela comprensión sobre el concepto de selección natural basado en la experiencia concreta de la simulación. Además, ellos ven que para sobrevivir, los peces necesitan más que ser rápidos; deben ser lo suficientemente afortunados como para estar donde su estrategia de caza heredada coincida con la fuente de alimento. Esta comprensión del rol del azar en el complejo proceso de evolución es a menudo pasado por alto en los libros de texto cuando presentan el tema de la evolución.

Hay muchas otras interpretaciones ingenuas que podrían darse sobre la evolución de la población de peces, la más común es que la estrategia de caza evoluciona para ayudar al pez a sobrevivir. Los autores creen que los estudiantes no usan esta línea de razonamiento debido a su experiencia de crear y usar simulaciones. Ellos saben que el código determina el comportamiento de los agentes y que ese comportamiento determina la dinámica de la población. Entonces ellos buscan el comportamiento codificado para una causa de la evolución. La comprensión del funcionamiento de la simulación programada los lleva a razonar correctamente y a evitar errores conceptuales. Prueba ser el conocimiento previo adecuado para la comprensión del mecanismo de la microevolución.

El cuestionario se llevó a cabo biológica y estructuralmente utilizando causa y efecto a partir de patrones de plancton a través del comportamiento individual de peces hasta el patrón de la población. Incluyó el azar y la condición física. Los estudiantes vieron la evolución ocurrir en sus simulaciones y utilizaron sus observaciones teniéndolas en cuenta para esa evolución. En contraposición, los estudiantes que no son capaces de ver la evolución ocurriendo en sus simulaciones, usan su intuición antes que sus observaciones. Ellos pueden asumir que la evolución procede en una dirección particular porque los individuos tratan de adaptarse (Caldwell, 2006). Los estudiantes que usan simulaciones tienen una oportunidad de aplicar el razonamiento científico a la evolución, sin necesitar basarse en concepciones previas.

Significación

Este piloto muestra que es posible la integración entre programación, simulaciones y principios de sistemas complejos en cursos de biología de los primeros años de la escuela secundaria y además es promisoria. Los estudiantes transfirieron los principios de emergencia de sistemas complejos a partir de un sistema lúdico simple a los modelos de crecimiento poblacional a través de la simulación de interacciones en una comunidad y a la dinámica del proceso evolutivo. Usaron su conocimiento sobre eventos en el nivel micro para explicar fenómenos complejos en el nivel macro como los ciclos fuera de fase en una comunidad biológica de productores y consumidores y para proveer mecanismos plausibles para eventos misteriosos como la evolución (Jacobsen & Wilensky, 2006).

Además, la secuencia de actividades empleada aquí apoya la idea de di Sessa's (2000) de que la programación puede habilitar el descubrimiento individual de patrones biológicos importantes convirtiendo esos patrones abstractos en patrones visuales y espaciales accesibles a los estudiantes. Las actividades probaron ser el conocimiento previo adecuado para contrarrestar una cantidad de errores conceptuales ampliamente difundidos y apoyar una comprensión funcional de los procesos evolutivos. Tal secuencia podría tener una amplia aplicación el curriculum de biología de la escuela secundaria. Para este fin, estamos desarrollando "evaluaciones de preparación para el aprendizaje futuro" para volver atrás e identificar los aspectos de estas actividades que preparen más directamente a los estudiantes para aprender los procesos detrás de la evolución (Schwartz, 2007) y su significación.

Referencias

- Ayala, Francisco, et al., 2008. *Science Evolution and Creationism*, third edition, National Academy of Sciences. <http://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=11876> Retrieved, 01/15/2010
- Begel, A. (1996). *LogoBlocks: A graphical programming language for interacting with the world* (Thesis). Massachusetts Institute of Technology, Department of Electrical Engineering and Computer Science.
- Caldwell, R, et al. (2006). *Understanding Evolution*, <http://evolution.berkeley.edu/evosite/evohome.html>, Retrieved, 01/15/2010.
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust. *Journal of Learning Sciences*, 14, 161-199.
- Cohen, E. W., & Kanim, S. E. (2007). *Algebraic difficulties in physics*. Retrieved July 1, 2009 from <http://spacegrant.nmsu.edu/NMSU/2004/cohen.pdf>
- Collella, V, Klopfer, E, Resnick, M. (2001). *Adventures in Modeling*, Teachers College Press, New York, N.Y.
- diSessa, A.A.(2000) Changing Minds, Computers, Learning and Literacy. MIT Press, Cambridge, MA, p 17.
- Edelson, D & Joseph, D (2004). Motivating Active learning: A Design Framework for Interest-driven Learning. <http://www.designbasedresearch.org/reppubs/edelson-joseph.pdf>. Retrieved 01/31/10
- Flammer, Larry, (2006). The Evolution Solution: Teaching Evolution without Conflict, *American Biology Teacher*, 68, (3), 1-7.
- Goldstone, R.L. & Wilensky, U., (2008). Promoting Transfer by Grounding Complex Systems Principles. Journal of the Learning Sciences, [http://www.informaworld.com/smpp/title%7Edb=all%7Econtent=t775653672%7Etab=issueslist%7Ebranch=17-v1717,\(4\),465-516](http://www.informaworld.com/smpp/title%7Edb=all%7Econtent=t775653672%7Etab=issueslist%7Ebranch=17-v1717,(4),465-516).
- Holland, John. (1996) Emergence: From chaos to Order, Perseus Books, New York, N.Y.
- Jacobson, M. & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 11-34.
- Klopfer, Eric & Hal Scheintaub (2008). StarLogo TNG – Science in Student-Programmed Simulations, *Proceedings of the 8th international conference for the Learning Sciences*, paper 388.

Klopfer, E, Scheintaub, H, Huang, W, Wendel, D, and Roque, R. (2009). The Simulation Cycle - Combining Games, Simulations, Engineering and Science with StarLogo TNG. *E-Learning*, 6, (1), 71-96.

Scheintaub, H, Klopfer, E, Scheintaub, M, Rosenbaum, E. (2009). Complexity and Biology – Bringing Quantitative Science to Life Science Classrooms. in Linking Mathematics and Biology in High School Classrooms, In Press for Fred Roberts, editor, Untitled.

Schwartz, D. L., Martin, T., & Nasir, N. (2005). Designs for knowledge evolution: Towards a prescriptive theory for integrating first- and second-hand knowledge. In P. Gardenfors & P. Johansson (Eds.), *Cognition, Education, and Communication Technology* (pp. 21-54). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Schwartz, D.L., Sears, D.A., & Chang, J. (2007). Reconsidering prior knowledge. In M. Lovett and P. Shah (Eds.), *Thinking with Data*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Sharin, B., & diSessa A. A. (1993). Dynaturtle revisited: Learning physics through collaborative design of a computer model, [Interactive Learning Environments](#), 3, 91 – 118.

Solé, R & Goodwin, B. (2000). *Signs of Life: How Complexity pervades Biology*. Basic Books, New York, N.Y., USA.

Wilensky, U. & Resnick, M. (1999). Thinking in Levels: A dynamic systems perspective to making sense of the world. *Journal of Science Education and Technology*, 8, 3-18.

Wilensky, U. & Stroup, W., 1999. Computer Support for Collaborative Learning, *Proceedings of the 1999 Conference on Computer Support for Collaborative Learning*, Article No. 80, <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1150320>, Retrieved, 01/15/10.