

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE PARÁMETROS EN SIMULACIONES DE FENÓMENOS DE PROPAGACIÓN DE EPIDEMIAS

Araceli León, Jesús Enrique Hernández-Zavaleta, Mauricio Farrugia

Facultad de Ciencias UNAM (México)

ara.9892@ciencias.unam.mx, jesus.hernandez@cinvestav.mx, farras22@hotmail.com

RESUMEN: Actualmente existen investigaciones que estudian modelos que exhiben dinámicas descentralizadas; por ejemplo, el comportamiento de las variables económicas, fenómenos ecológicos y la dinámica de ciudades, entre otros. La experiencia reportada en este escrito se llevó a cabo con estudiantes entre 17 y 18 años de edad, utilizaron el software *NetLogo* para modificar los parámetros de un modelo referente a la dinámica la propagación de una epidemia con la finalidad de fomentar la discusión de nociones, que se encuentran intrínsecas en la dinámica, como son la emergencia y la estabilidad. Éstas promueven una forma integrada de pensar en el campo de las ciencias y la vida cotidiana, además de proponer otras maneras de pensar en la complejidad que nos rodea.

Palabras clave: modelación, descentralización, netlogo

ABSTRACT: Nowadays, there are researches which study models that show decentralized dynamics. For example, the behavior of economic variables, ecological phenomena and the dynamics of cities, among others. The experience reported in this paper was carried out with (17 to 18age group) students who used the *NetLogo* software to modify the parameters of a model concerning the dynamics of an epidemic spread in order to encourage the discussion of notions, which are intrinsic in the dynamics, such as emergency and stability. Such dynamics foster an integrated way of thinking in the field of science and everyday life. They also propose other ways of thinking about the complexity that surrounds us.

Key words: Modeling, decentralization, NetLogo

■ Antecedentes

Este trabajo reporta una experiencia que tuvo su génesis en el seminario de enseñanza de las matemáticas, en la facultad de ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Las discusiones sobre cómo se vincula el paradigma de los sistemas complejos con el fenómeno educativo llevaron a indagar sobre las explicaciones que dan las disciplinas científicas sobre los fenómenos naturales. Éstos se caracterizan por abarcar elementos que pertenecen al dominio de varias disciplinas, lo que implica que una visión integrada requiere de nuevas formas de construcción de conocimiento.

El principal propósito de esta experiencia fue fomentar la discusión sobre la emergencia y la estabilidad de patrones en un fenómeno descentralizado, utilizando el ejemplo dinámico de la propagación de una epidemia cuya regla de interacción está basada en el modelo SIR (Sano, Infectado y Recuperado) (Esteva, 2002), en un primer momento se estudió la variación de parámetros en la simulación de la biblioteca de modelos de *Netlogo* (Wilensky & Stroup, 1999). Esta situación pretende ser una propuesta integradora para fomentar formas de pensar científicas que logren indagar en la complejidad que nos rodea, en estudiantes de último grado de bachillerato (de 17 a 18 años).

La interacción entre la biología y otras áreas de ciencia como la matemática, la física y las ciencias de la computación, ha guiado el intercambio de estrategias y epistemologías para la comprensión de fenómenos propios de la disciplina, de esta forma, los sistemas biológicos han servido como ejemplos de sistemas complejos (Holland, 1996; Camazine, 2001; Flake 1998; Wilenski & Reisman, 2006; Solé, 1993; Sánchez & Padilla, 2002). La capacidad de estos sistemas para adaptarse a su entorno, los hace candidatos para la búsqueda de las leyes que permiten la emergencia de patrones estructurales y de modos de comportamiento (Strogatz, 2003; Kauffman 1995). Los fenómenos descentralizados, se refieren a sistemas que presentan un comportamiento, visiblemente regular, el cual carece de alguna forma de liderazgo que lo oriente; por ejemplo, los insectos sociales como las hormigas son capaces de construir estructuras, tan complejas y firmes, como sus hormigueros sin necesidad de que exista una “hormiga líder del proyecto”; en realidad, las interacciones simples a corto alcance entre ellas llevan al trabajo comunitario que tiene como consecuencia un comportamiento emergente.

Existen investigaciones que muestran que los 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 y, 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 (Santa Fe, 2012; Resnick, 1997; Hernández Zavaleta, Carrión Velázquez & Carrión Vázquez, 2015; Dickes, Sengupta, Farris & 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). De esta forma el software *NetLogo* es el escenario pertinente para la visualización y análisis de este tipo de dinámicas.

■ Desarrollo de la experiencia

Durante el desarrollo de la experiencia se pudieron evidenciar tres momentos que ayudaron a los asistentes a tener una inmersión en la situación propuesta. En el primer momento se pretende encarar el problema de las epidemias con concepciones de los participantes y la documentación de ejemplos ocurridos a lo largo de la historia. El momento dos se refiere a la dinámica de corporización de los agentes, se pretende que los participantes jueguen el papel de agentes que pueden tener tres estados Sano, Infectado o Recuperado y se haga la simulación de una epidemia mediante la interacción corporal de los asistentes.

Momento uno o de introducción, en este momento la ponente toma el papel activo a modo de conferencia y comienza haciendo las preguntas: ¿Qué es una epidemia? y ¿cómo se comporta?, las respuestas esperadas apuntan a la búsqueda de las diversas perspectivas que pudieran tener los participantes sobre la epidemia y su comportamiento. El foco del análisis se situó en las respuestas de la segunda pregunta, el contexto de cada individuo lo ha llevado a estar relacionado con algún tipo de contagio, pero raramente inmerso en una situación de epidemia, también el contexto de cambio puede llevar a respuestas relacionadas con las matemáticas como comportamiento de funciones o relaciones con el cambio de estado apegado a la derivada, estos argumentos son posibles debido a que la mayor parte de los asistentes habían cursado la asignatura de cálculo diferencial.

Posterior a la discusión sobre qué es y cómo se comporta una epidemia, se presentan 3 ejemplos de epidemias que ocurrieron en diferentes lugares geográficos y etapas históricas, el primer ejemplo se refiere a la epidemia de influenza ocurrida en 1978 en un internado en Inglaterra, el segundo a la epidemia de la peste bubónica ocurrida en Bombay en 1908, que ocasionó una gran mortandad entre la población y el tercero el caso de la influenza AH1N1 ocurrido en México durante el año 2009. En esta etapa se comienzan a hacer preguntas que orienten hacia el análisis de las diferencias existentes entre una enfermedad que se contagia y no alcanza a ser una epidemia, una epidemia y una pandemia.

Momento dos o dinámica de corporización, se realiza con el fin que los alumnos comprendan como se transmite una enfermedad y tomen el papel de los agentes que posteriormente seguirán en la simulación computacional. Esta dinámica consiste en hacer un círculo con sillas, en las cuales se sentarán los alumnos, la formación de parejas, semejará el contacto y el paso del tiempo estará dado por el cambio de lugar sincronizado. En el colectivo se encuentran algunos individuos que se saben infectados y fungirán como las condiciones iniciales del sistema. Al cambiarse de lugar se formarán parejas, siempre con la persona que se encuentre a su derecha, si alguno de los integrantes de la pareja se encuentra infectado, infectara a la otra persona, cada individuo durará infectado durante tres tiempos a partir de ser infectado, después entrara en la fase de recuperado, sin posibilidad de volver a

infectarse, así llegara un momento en el que todos estarán recuperados. Cada alumno contara con una tabla en la cual registrara su estado en cada tiempo (S=susceptible, I=infectado, R=recuperado).

En este caso las condiciones iniciales definen diferentes dinámicas que deben ser reflexionadas y explicadas por los asistentes. Se propusieron tres condiciones iniciales diferentes: la primera dinámica consistió en que, al iniciar, $\frac{3}{4}$ de la población se encuentre infectada, en este caso la enfermedad se propagara rápidamente y todos los individuos se infectaran en algún momento. La segunda dinámica se comienza con $\frac{1}{3}$ de la población infectada y la tercera consistió en que solo $\frac{1}{8}$ de la población se encontrara infectada el principio, en ambas, pasa que existe al menos una persona que no se infecta. Al finalizar esta dinámica se debe analizar el cambio en el comportamiento de la epidemia dando importancia a las consecuencias de la elección de las condiciones iniciales.

El Momento tres o variación de parámetros, consistió en que con el apoyo de la simulación epiDEM basic, de la biblioteca de modelos de Netlogo (Wilensky & Stroup,1999), los participantes realicen diversos cambios en los valores de parámetros propuestos que están propuestos en la interfaz gráfica. El objetivo es que después del análisis de la variación y combinación de valores en los parámetros, la interpretación de las gráficas y de la representación de agentes moviéndose en el “espacio de Netlogo”, se puedan hacer descripciones referentes al comportamiento de las epidemias. En la *Figura 1* se muestra la interfaz gráfica con la que trabajaron los participantes, los parámetros son controlados por barras deslizadoras y se refieren a la cantidad inicial de población, a la tasa de recuperación, tasa de infección y al promedio de tiempo de recuperación. Abajo se pueden ver las gráficas que muestran el porcentaje de infectados y recuperados y el comportamiento de las tasas de recuperación. La ventana marcada con RO se refiere al número reproductivo básico que al presentar valores mayores a 1 indica el inicio de una epidemia, el “espacio de Netlogo” se muestra a la derecha y las imágenes representan a una población que se mueve libre y aleatoriamente por todo el espacio y cambian de estado al encontrarse en el mismo lugar. La condición inicial (cantidad de individuos infectados en el tiempo cero) es elegida aleatoriamente por el programa.

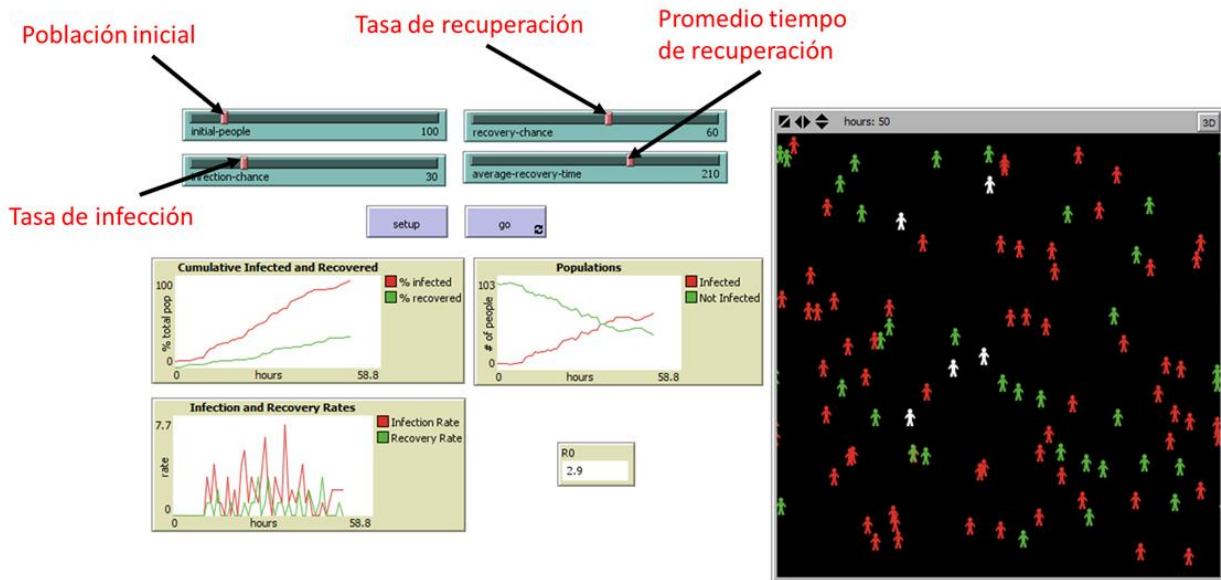


Figura 1. Interfaz gráfica con la que trabajaron los participantes en el Momento tres o de variación de parámetros

La *Tabla 1* muestra los valores de parámetros propuestos para su análisis. En cada caso se pide que elabore una descripción, por escrito, detallada con base en las siguientes preguntas: ¿Cómo se difunde la enfermedad? ¿Qué observas en el comportamiento gráfico? ¿Qué percibes en el comportamiento de los agentes por el espacio de Netlogo? En este caso se espera la descripción de un análisis profundo basado en evidencias brindadas por la simulación y su comportamiento gráfico. La combinación de valores de parámetros hace que se distingan una variedad de comportamientos que al principio parecen no tener un patrón de comportamiento regular, pero con el paso del tiempo y la selección adecuada de los parámetros es posible distinguir y predecir algunas interacciones.

Tabla 1. Se muestran los valores que se proponen para que los participantes realicen el análisis de la simulación

Población inicial	Tasa de infección	Tasa de recuperación	Tiempo promedio de recuperación
100	30	60	200
50	30	60	200
200	30	60	200
400	30	60	200
100	10	60	200
100	60	60	200
100	100	60	200
100	30	10	200
100	30	30	200
100	30	100	200
100	30	60	50
100	30	60	100
100	30	60	300

Una vez terminado el análisis de los parámetros utilizando los casos propuestos, se considera el trabajo de interpretación global del fenómeno, es decir ahora comienza un proceso de comparación de dinámicas, esta tarea es orientada por preguntas como: ¿en qué casos se produce una epidemia y en cuales no? ¿existe algo en común en los casos en los que no se presenta epidemia? ¿Cómo influye el cambio de la población inicial en el comportamiento de la enfermedad? El caso de comparación entre estados globales para diferentes valores en el sistema, es una estrategia que puede ayudar a dar cuenta de la dinámica de una epidemia, en este caso se consideran la aparición de estado periódicos, estacionarios o estados sin ningún patrón aparente.

■ Discusión

Durante el momento uno o de introducción, las respuestas fueron muy breves, pero expresaban opiniones sobre sus experiencias con enfermedades contagiosas propias y de familiares. La mayoría

expresó su conocimiento general sobre las epidemias acertadamente. Su idea sobre el comportamiento de una epidemia era ambigua, no podía decir certeramente que significaba, algunos recurrieron a sus conocimientos de pre – cálculo argumentando un crecimiento exponencial. En el momento dos o de corporización, se observó un incremento en la comprensión del comportamiento de la propagación de una enfermedad conforme se proponían nuevas dinámicas cambiando las condiciones iniciales, de tal forma que después de algunos movimientos ellos se atrevían a expresar su opinión sobre cómo se había comportado la enfermedad y la posible causa de dicho comportamiento, basándose en las condiciones iniciales y ejercicios anteriores.

En el momento tres o de variación de parámetros, se les pidió que trabajaran con los valores propuestos en la *Tabla 1*, sin embargo, la mayoría de ellos al concluir con la actividad o en el transcurso de ella hicieron cambios de parámetros que ellos mismos propusieron, basándose en sus inquietudes. Es importante mencionar que estos mismos participantes se centraron en el tiempo que tarda en propagarse la enfermedad y la relación existente entre la cantidad de infectados y recuperados, es decir cuando una enfermedad afecta a una población entera y cuando no. Algunos hacen un análisis más profundo sobre las gráficas, notando entre ellas cierta similitud a pesar de los cambios de parámetros. Muy pocos realizan una observación más minuciosa en las gráficas, logrando con esto notar lo mismo que los anteriores, pero agregando la importancia y significado del momento en que las gráficas presentan un cambio cualitativamente diferente o se intersectan. En el caso de la gráfica de infectados y recuperados dicen que alcanza un punto máximo, que es la población total, es decir cuando en una población todos los individuos pasan por la fase de infectado en algún momento para posteriormente recuperarse, lo cual hace que ambas líneas lleguen al mismo punto, pues en este primer programa no se manejó la posibilidad de que existiera reinfección y al no existir muertes o migración la población es constante, al comportamiento que presenta la gráfica de recuperados principalmente algunos de ellos lo definieron como exponencial, pues es similar a la gráfica que define una función exponencial.

Al finalizar la actividad no solo expresaban sus opiniones, formulaban preguntas sobre el modelo y el cambio de comportamiento al agregar nuevos parámetros y se referían a la semejanza o diferencia de gráficas, se preguntaban sobre la existencia de una epidemia y que tanto influía cada parámetro en el modelo.

■ Reflexiones finales

Algunas conclusiones relevantes de esta experiencia son: el análisis de la variación de parámetros, en la evolución del fenómeno de la propagación de una epidemia, ayuda a desarrollar una comprensión intuitiva de los conceptos e ideas tales como: la emergencia, es decir, el surgimiento de patrones con estructuras complejas que se da a partir de una serie de reglas simples; por otro lado, se fomentó la discusión de conceptos dinámicos elementales tales como condiciones iniciales, estabilidad y

periodicidad al realizar una interpretación del comportamiento gráfico y a través de la observación los cambios de estados que presentaban los agentes al moverse en el “espacio de Netlogo”.

Es necesaria la propuesta de un marco metodológico que permita el análisis de los argumentos de los participantes para indagar más a fondo en la construcción de conceptos y razonamientos que se dan al interactuar con la simulación y reconocer ciertos tipos de patrones contrastándolos con la “realidad”. Un primer acercamiento a las producciones durante la experiencia, ha permitido reconocer argumentos sobre estados invariantes y estacionarios. Cuando se entienden estos conceptos, el desorden que se muestra en el “espacio de Netlogo” se vuelve más comprensible.

Para concluir, es importante mencionar que se sigue trabajando en la creación de instrumentos para la intervención y recolección de datos relacionados con modelos modificados de esta simulación, 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.

■ Referencias bibliográficas

- Camazine, S., Deneubourg, J-L, Franks, N., Sneyd, J., Theraulaz, G. & Bonabeau, E. (2001) Self-Organization in Biological Systems. *Princeton University Press*.
- Castiglione, F. (2006) Agent based modeling. *Scholarpedia*, 1.
- Dickes, A., Sengupta, P., Farris, A.V., & Basu, S. (2016). Development of Mechanistic Reasoning and Multi-level Explanations in 3rdGrade Biology Using Multi-Agent Based Models. *Science Education*.
- Esteva, L. (2002) El modelo de Kermack y Mc.Kendrick o como predecir el curso de una epidemia. *En Sánchez Garduño, F., Miramontes, P. & Gutiérrez, J. L. (Eds.) Los clásicos de la Biología Matemática*, Editorial Siglo XXI-UNAM, 2002.
- Flake, G. W. (1998) The Computational Beauty of Nature Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation. *MIT Press*, Cambridge
- Hernández Zavaleta, J.E., Carrión Velázquez, V., & Carreón Vázquez, G. (2016, May). Decentralized Simulation Phenomena to Foster Mathematical Thinking Development in the Classroom. *En M. Takeuchi, A.P. Preciado Babb, & 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*
- Kauffman, S. (1995) *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. *Oxford University Press*. New York.
- Resnick, M. (1997). *Turtles, Termites and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*. *The MIT Press*.
- Sánchez, F., & Padilla, P. (2002). Emergencia y formación de patrones en biología: un enfoque matemático. En Esteva L. & Falconi, M. (Eds.), *Biología Matemática, un enfoque desde los sistemas dinámicos*. (págs. 125-157). México: Coordinación de Servicios Editoriales, Facultad de Ciencias-UNAM.
- Santa Fe Institute (Producer). (2012, Agosto 7). Complexity the Future of Learning and Education [Video file]. Obtenido de <http://www.santafe.edu/research/videos/play/?id=2e4b0057-8639-407c-b4b6-8b53db267f7d>
- Solé, V. (1993) *Orden y Caos en Sistemas Complejos*. *Universitat Politècnica de Catalunya*. España.
- Strogatz, S. (2003) *Sync: How Order Emerges from Chaos in the Universe, Nature, and Daily Life*. *Hyperion*
- Wilensky, U., & 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.
- Wilensky, U. & Stroup, W., (1999). HubNet. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/hubnet.html>. *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling*, Northwestern University, IL