

Propuesta para entender el control biológico de plagas desde la simulación basada en Autómatas Celulares

Andrés Mauricio Riveros Díaz

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, Grupo de Complejidad

Cra. 8 #40-62, Bogotá, Colombia

amriverosd@correo.udistrital.edu.co

Abstract— Based on the complex system theory and artificial life, a cellular automata model is proposed to simulate the complex process that occurs during interaction between two species, with the purpose of control the spread of a pest during planting a crop. Two species of insects are considered, the host which can be parasitized using eggs of parasites. The proposed model could serve as a basis for the development of algorithms to simulate biological control in a crop and pest specified based on real data.

Resumen— Basado en la teoría de sistemas complejos y vida artificial, se propone un autómata celular para simular el proceso complejo que se presenta durante la interacción entre dos especies, esto con el fin controlar la propagación de una plaga durante la plantación de un cultivo. Se consideran dos especies de insectos, el hospedante o anfitrión, el cual puede ser parasitado usando los huevos de los parásitos. El modelo propuesto podría servir como base para el desarrollo de algoritmos para simular el control biológico en un cultivo y plaga específica con base en datos reales.

I. INTRODUCTION

La propagación de plagas se puede considerar un problema complejo debido a la emergencia, características no lineales, dinámicas caóticas, incertidumbre, adaptación y auto organización que se presentan por las dinámicas de las especies con su entorno. Además es una problemática presente en cualquier plantación, donde se ha demostrado que la presencia de una plaga puede causar pérdidas entre el 15% y 50% de la producción [1] que anualmente pueden ascender hasta los 500 millones de dólares [2]. Sin embargo, las técnicas clásicas como el control químico, han comenzado a perder su validez debido a la adaptación de los insectos, además de las consecuencias que pueden llegar a tener los insecticidas en las personas. Por ello, una alternativa que varios investigadores han retomado es el uso de agentes biológicos.

El control biológico o combate biológico, consiste en la actividad de regulación o supresión de un organismo mediante la manipulación de los enemigos naturales: parásitos, depredadores y patógenos [4]. Para esto se debe identificar el parásito y su enemigo natural con el fin de estimar las poblaciones [3], pero su supervisión es compleja de realizar y muchos trabajos en esta materia se han hecho de forma empírica. Sin embargo, se han desarrollado modelos matemáticos que abstraen las generalidades de esta relación, uno de ellos es el modelo de Nicholson-Bailey donde las dos especies asumen distribuciones aleatorias en un tiempo discreto, y las densidades poblacionales

dependen de la coexistencia entre ellas, pero aun así dicho modelo es una versión simplificada, ya que la inclusión de todas las variables hacen que matemáticamente sea más difícil analizar su comportamiento.

Por otra parte, con el avance de la computación y las nuevas formas de procesamiento de información a través del software y más directamente las simulaciones, se logra expresar la complejidad de sistemas que matemáticamente son más difíciles de comprender [5]. Una de estas técnicas son los autómatas celulares, estos permiten comprender el estudio del caos en los sistemas físicos donde el espacio y el tiempo son discretos y las interacciones son locales. Los autómatas están constituidos en un espacio n -dimensional y cada elemento o celda es llamada célula, la cual posee un estado en un instante de tiempo t . Por ello, el propósito de este trabajo es servir como fundamento teórico para el desarrollo de modelos y algoritmos que permitan estudiar y comprender las dinámicas presentes durante la propagación de una plaga haciendo uso de datos reales.

Por lo tanto, se plantea la posibilidad de utilizar autómatas celulares con el fin de entender las dinámicas que se presentan en el control biológico de plagas.

II. SISTEMAS COMPLEJOS

Por su transdisciplinariedad, el análisis a partir de la teoría de sistemas complejos ha tomado gran aceptación por la comunidad científica en los últimos años, debido a la simplicidad de la complejidad, es decir, un sistema que ha evolucionado y se ha desarrollado por un gran periodo de tiempo, como es el caso de los sistemas naturales, presenta mucha dificultad para ser analizado desde una escala global, pero analizándolo desde su base “subsistemas más simples”, se pueden obtener comportamientos emergentes [7].

Formalmente según Bar-Yam, un sistema es considerado “complejo” cuando está compuesto de un gran número de elementos que se relacionan entre sí [6], debido a su composición y sus interacciones se evidencia emergencia, caos, incertidumbre y no linealidad; sin embargo, no existe una definición aceptada de manera general. Debido a la aplicación en varias ramas del conocimiento, algunos autores argumentan que la complejidad no deriva de la cantidad de elementos sino de sus interacciones, el intercambio de energía, materia e información es lo que enriquece al sistema y lo hace complejo [8]. Según Melanie Mitchell, un Sistema Complejo es aquel en el cual extensas redes de componentes sin control central y con reglas de operación simples dan lugar a un comportamiento colectivo

complejo, sofisticado procesamiento de información y adaptación a través de aprendizaje o evolución exhibiendo comportamientos emergentes y auto-organizados no triviales [9].

Aun así, el conjunto de heurísticas y metaheurísticas que se agrupan como técnica para describir y comprender estos sistemas ha aumentado, mediante el uso del modelamiento y simulación se ha logrado crear pequeños escenarios que recrean algunos fenómenos naturales y artificiales como: propagación de incendios, enfermedades, enrutamiento en redes y análisis de internet. Algunos campos y líneas de trabajo son; Sistemas-L, Computación celular, Robótica evolutiva, Evolución artificial, Algoritmos genéticos, Inteligencia colectiva, inteligencia de enjambre, Optimización por colonias de partículas, Biología sintética, Síntesis bioquímica, Computación organiza, redes complejas, computación con ADN y autómatas celulares [10].

III. AUTÓMATAS CELULARES

Los Autómatas celulares (AC) surgen en 1940 con los trabajos realizados por Stanislaw Ulam y John Von Neumann, quienes se plantean el problema de construir un “Universo abstracto” a partir de una máquina capaz de auto-replicarse, la cual se componía de un conjunto de células que crecían, se reproducían y morían a medida que avanzaba el tiempo. Los AC son sistemas dinámicos, distribuidos, paralelos y discretos capaces de soportar comportamientos y estructuras complejas. Esta estructura está formada por un conjunto de objetos idénticos llamados células o celdas. Inicialmente cada celda posee un valor que representa la condición inicial, que puede variar en cada paso discreto de tiempo de acuerdo a una función de transición [11].

Para el modelo propuesto se plantea un autómata finito de dos dimensiones, el cual se puede definir de la forma $CA = \{Z^d, S, N, f\}$, donde Z^d es el espacio del autómata, S corresponde al conjunto de estados posibles, N es el conjunto de vecinos, denotados de la forma $N = \{N_1, N_2, N_3, \dots, N_k\}$ donde k es el número de vecinos y $f: S^k \rightarrow S$ es la función que denota el conjunto de reglas que actualiza el estado local de una célula [12]. Todos los elementos del autómata cambian su estado de forma sincrónica en un tiempo discreto según la función y los estados de sus vecinos.

IV. MODELO PROPUESTO

A. Simulación del modelo Clásico

A. J. Nicholson fue uno de los primeros biólogos que sugirió un modelo teórico para comprender los sistemas huésped-parasitoide, aunque sólo con la ayuda del físico V. A. Bailey lograron un rigor matemático, dicho modelo logra ilustrar las propiedades de una búsqueda al azar y eficiencia independiente de las densidades del huésped y el parásito [13], el modelo presentado fue el siguiente.

$$H_{t+1} = H_t (e^{-P_t F}) R \quad (1)$$

$$P_{t+1} = H_t (1 - e^{-P_t F}) q \quad (2)$$

Donde H y P son la densidad del hospedante y el parasitoide respectivamente, F la tasa de fecundidad del parasitoide (número de huevos que pone una hembra), R la reproducción promedio del hospedante y q la proporción de hembras del parasitoide. La simulación por MatLab del modelo se presenta en la figura 1.

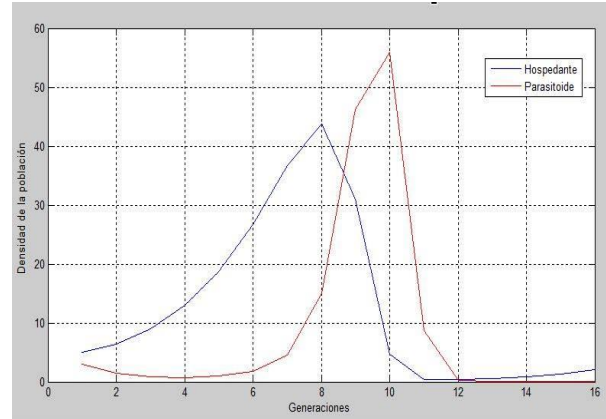


Fig. 1. Simulación del modelo Clásico Nicholson-Bailey

Una extensión de este mismo modelo se logra incluyendo en la ecuación (1) el modelo de Ricker, el cual considera la inclusión de 2 nuevas variables, r que es la tasa intrínseca de crecimiento y K que se considera la capacidad de carga del ambiente, definiendo la ecuación (3) del hospedante y de la cual se observa la simulación del modelo en la figura 2 [14].

$$H_{t+1} = H_t \left(e^{r(1-\frac{H_t}{K}) - P_t F} \right) R \quad (3)$$

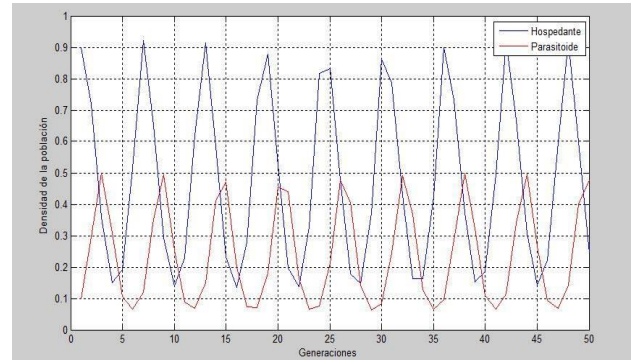


Fig. 2. Simulación del modelo Clásico Nicholson-Bailey Mejorado

Sin embargo, los trabajos llevados a cabo desde la parte biológica a través de muestreos y estadísticas para el control biológico de plagas evidencian que las relaciones entre las poblaciones no son similares a las que expone el modelo, tal es el caso de la investigación realizada por Gillespie [15], que expone el control de la mosca blanca por medio del parasitoide *D. hesperus* en un cultivo de tomate (figura 3). Sin embargo, llama mucho la atención que estas investigaciones se centran más en la temperatura, humedad y edad del cultivo, características que evidentemente no se ven en los modelos matemáticos expuestos anteriormente.

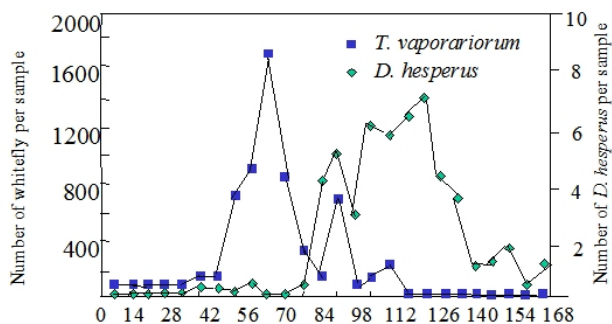


Fig. 3. Mediciones del control biológico de la mosca blanca mediante el parasitoide *D. hesperus* [15]

B. Hipótesis

Basado en los trabajos propuestos donde se toman datos reales para el análisis y comprensión del comportamiento, se plantea la idea de modelar y simular mediante un autómata celular, de dos dimensiones, las interacciones del hospedante y parasitoide en un cultivo determinado. Partiendo de la facilidad que puede brindar este enfoque por medio de un conjunto de reglas sencillas, se pretende brindar una herramienta de software que a partir de un conjunto de condiciones iniciales evidencie la conducta que podría tener una plaga y cómo combatirla por medio del control biológico de plagas, algunas de las reglas que se proponen son:

- Las tasas de reproducción dependen de la temperatura, ya que investigaciones muestran que en casos como la mosca blanca, la tasa de reproducción es superior en climas cálidos.
- La dispersión deberá depender de un índice de vegetación de la planta, esto con el fin de simular la dispersión de la plaga por el cultivo.
- Rangos poblacionales entre las densidades de las poblaciones como otra regla de dispersión en el ambiente.

V. CONCLUSION Y TRABAJO FUTURO

Se presentó el contexto matemático sobre el cual se han estudiado, hasta el momento, las dinámicas entre dos especies que son enemigos naturales. Sin embargo, hasta ahora se están comenzando a generar modelos que se contrasten con datos reales para entender la problemática desde un perspectiva diferente, por lo tanto, se propone a la teoría de sistemas complejos como marco referencial para reevaluar los trabajos desarrollados desde otro enfoque, en este caso Autómatas Celulares, haciendo uso de las herramientas computacionales con las que contamos actualmente.

Como trabajo futuro, se está desarrollando el autómata celular a fin de contrastar los resultados con los modelos matemáticos teóricos y los datos que se han capturado bajo un cultivo, plaga y hospedante específico, esto con el fin de limitar y evaluar las variables con base en datos reales de investigaciones que se hayan realizado y demostrar la facilidad que puede brindar este enfoque para la comprensión del control biológico de plagas.

REFERENCES

- [1] A. Rodríguez y C. Cardona, Bases para el establecimiento de un manejo integrado de plagas en habichuela en la región de Sumapaz, Colombia. Resúmenes de la primera reunión de leguminosas de grano de la zona Andina, Quito, 1990.
- [2] D. Gerling, «Una reinterpretación sobre las moscas blanca.» *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*, pp. 13-21, 2002.
- [3] R. Gonzáles, Estudio analítico del control biológico de plagas agrícolas en Chile, Chile: Agricultura Técnica, 1999.
- [4] InfoAgro, «InfoAgro,» 12 10 2015. [En línea]. Available: http://www.infoagro.com/abonos/control_biologico.htm.
- [5] R. Daniel Alejandro, Descripción y Aplicaciones de los Autómatas Celulares, Mexico, 2011.
- [6] Y. Bar-Yam, Dynamics of Complex Systems, Massachusetts: Addison-Wesley, 1997, p. 839.
- [7] P. Zhang y L. Feng, «Research on characteristics of complex system brittleness,» International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization, pp. 31-33, 2010.
- [8] M. Tarride, «Complejidad y Sistemas Complejos,» de Historia, Ciencias, Saúde, Brasil, Scielo, 1995, pp. 46 - 66.
- [9] Mitchell, M. (2009). Complexity: A Guided Tour. Estados Unidos: Oxford University Press.
- [10] N. Gomez, Vida Artificial, Ciencia e Ingeniería de sistemas Complejos., Bogotá : Universidad del Rosario, 2013.
- [11] R. Neptalí, Comentarios sobre la defición de Autómata Celular, Venezuela, 2003.
- [12] Y. Yu, J. Wang y j. Ding, «An Extended Model of the Cellular Automata,» ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, pp. 66-69, 2009 .
- [13] W. Rati, «Numerical Simulation of Coexist between Host and Parasitoid for Improved Modification of Nicholson-Bailey Model,» International Conference on Signal Processing Systems, pp. 1003-1006, 2009 .
- [14] J. Powell, Spatio-Temporal Models in Ecology; an Introduction to Integro-Difference Equations, 2002.
- [15] D. Gillespie, R. McGregor, D. Quiring y M. Foisy, «Biological control of greenhouse whitefly with *Dicyphus hesperus*.» *Pacific Agri-Food Research Centre*, vol. Technical Report 157, 2000.