

Modelado de la Dinámica Poblacional en un Ecosistema Simple Compuesto de una Cobertura Vegetal y un Consumidor Primario mediante un Sistema Multiagentes.

Modeling of Population Dynamics in a Simple Ecosystem Composed of Vegetation Cover and a Primary Consumer by means of a Multi-agent System.

Presentación: 13 y 14 de septiembre de 2023

Claudia Marina Sánchez

Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (UNC)
Facultad Regional Córdoba (UTN)
Claudiamarina70@gmail.com

Natalia Carolina Bustos

Facultad Regional Córdoba (UTN)
Nataliacaruline@hotmail.com

Miguel Re

Facultad Regional Córdoba (UTN)
Mgl.re33@gmail.com

Daniel Horacio Brusa

Facultad Regional Córdoba (UTN)
dhbrusa@hotmail.com

Javier Britch

Facultad Regional Córdoba (UTN)
javierbritch@hotmail.com

Resumen

En este trabajo se modeló un ecosistema simple compuesto de una población vegetal, fija al hábitat y otro animal, móvil que se alimenta de la primera. Se estudió el efecto de distintas combinaciones de necesidades alimenticias tanto para el mantenimiento como para el crecimiento de ambas poblaciones mediante un sistema Multiagente que contempla la reproducción, reducción y expansión de los parches de cobertura vegetal en su interacción con un consumidor primario que a su vez se reproduce y alimenta de dicha cobertura vegetal. El modelo de la cobertura vegetal es dinámico y en su evolución temporal autónoma puede transitar estados de tipo binomial, degradación cualitativa continua, segmentación y pérdida de hábitat. Se observan comportamientos emergentes en la especie móvil tales como la colonización de áreas nuevas y las capacidades de carga de cada subsistema con relación a parámetros específicos de cada especie (tasa de reproducción, rango de acción, distancias iniciales

entre parches y necesidades alimenticias para la supervivencia). Se estudia la dependencia del estado final de equilibrio, y los tiempos para llegar al mismo, con las necesidades alimenticias para subsistencia y crecimiento del consumidor primario.

Palabras clave: Ecosistemas, Sistemas Multiagente, Capacidad de Carga, Comportamientos Emergentes.

Abstract

In this work, a simple ecosystem composed of a plant population, fixed to the habitat, and another mobile animal that feeds on the first, was modeled. The effect of different combinations of nutritional needs for both maintenance and growth of both populations was studied using a Multiagent system that contemplates the reproduction, reduction and expansion of patches of vegetation cover in its interaction with a primary consumer that in turn reproduces and feeds on said vegetation cover. The vegetation cover model is dynamic and in its autonomous temporal evolution it can go through states of a binomial type, continuous qualitative degradation, segmentation and loss of habitat. Emergent behaviors can be observed in the mobile species such as the colonization of new areas and the carrying capacities of each subsystem in relation to specific parameters of each species (reproduction rate, range of action, initial distances between patches and food needs for the survival). In particular, the dependencies of the final state of equilibrium and the times to reach it with the food needs for subsistence and growth of the primary consumer have been seen.

Keywords: Ecosystems, Multiagent Systems, Carrying Capacity, Emerging Behaviors.

Introducción

Los patrones de distribución de las poblaciones son un tema central de la teoría ecológica (Leemans 2013; Tassadduq, 2022). La cobertura vegetal determinada de una zona, es el resultado proveniente de la interacción entre los factores ambientales, los procesos biológicos y un conjunto de poblaciones que cohabitan un espacio continuo (Matteucci y Colma, 1982). La forma como se distribuyen las poblaciones en ese espacio geográfico es crucial, ya que permite inferir acerca del uso de los recursos (Entrocassi et al, 2020). Una variación en la abundancia de la cobertura vegetal o su diversidad, puede producir cambios significativos en las poblaciones que se alimentan de esta (consumidores primarios). Esto refleja el efecto de la adaptación a las condiciones del hábitat y/o de la limitación en dispersión sobre la estructura de las comunidades (Condit et al., 2002). La estructura, composición y diversidad de la cobertura vegetal son características, a través de las cuales, se puede conocer la distribución temporal, así como obtener información base para entender las relaciones a escala de paisaje (Frazier, 2016; Huckeba et al, 2022), lo que puede repercutir de manera negativa en las poblaciones que lo cohabitan. El estudio del modelado de la interacción entre la cobertura vegetal y los consumidores primarios pueden ayudar a entender como estos vínculos pueden modificar la estructura espacial del paisaje (Lindenmayer y Fisher, 2006; Zuccarini y Geraldini, 2022) de manera aleatoria, es decir sin degradación antrópica, y las poblaciones que dependen de ellas. Más aun, el modelado de ecosistemas mediante sistemas multiagente (Bousquet y Le Page, 2004; Carmichael y Hadzikadic, 2019; Ferber et al, 2004; Jennings y Wooldridge, 2005) es una poderosa herramienta que crece con la capacidad de cálculo y con el conocimiento de particularidades de las relaciones individuales intra e interespecies (Delmas et al, 2018). La posibilidad de obtener resultados representativos comienza a evidenciarse en trabajos que recuperan resultados bien comportados de otras descripciones analíticas de sistemas simples tales como el modelo de Lokta-Volterra de Presa-Depredador pero que tienen la ventaja de su potencialidad para dar descripciones más completas de la complejidad de los ecosistemas tales como las distribuciones espaciales de los individuos, la estructura interna de las poblaciones o la estructura del paisaje y clima desde una evolución estocástica (Bustos et al, 2022). Este comportamiento habilita la posibilidad de fluctuaciones, bifurcaciones, divergencias y distintas trayectorias en el espacio de las variables de estado del sistema.

Desarrollo

Se elaboró un código en entorno Matlab que permite el seguimiento de agentes **vegetación** y agentes **conejo** en un hábitat plano circular común de radio R_h (Radio de Hábitat).

Los agentes vegetación se distribuyen inicialmente en parches de radio R_p (radio de parche) al azar en este hábitat y presentan una densidad superficial de biomasa inicial, también al azar, en un intervalo definido por densidades mínima y máxima (δ_{min} , $\delta_{máx}$). Los agentes vegetación presentan un ritmo de crecimiento constante r_p , proporcional a la biomasa del parche la cual aumenta en cada paso temporal de la simulación (ΔT). La densidad superficial de biomasa de cada parche se calcula en cada ΔT y si ésta es mayor a $\delta_{máx}$, su radio aumenta para que la densidad sea igual a $\delta_{máx}$. Análogamente, si la densidad del parche es menor a δ_{min} su radio disminuye para que la densidad sea igual a δ_{min} .

De esta manera los parches pueden crecer o reducirse hasta inclusive desaparecer. Ajustando la cantidad de parches, su radio y el rango de densidades se pueden representar situaciones de fragmentación de la cobertura vegetal de degradación continua o de pérdida absoluta. En este trabajo se simulieron situaciones iniciales con la misma biomasa inicial de agentes vegetación, variando su número y ajustando el radio del parche en un rango de densidades fijo.

Por otro lado, los agentes conejo se reproducen a un ritmo constante r_c proporcional a la población de conejos existentes. Inicialmente se distribuyen en el hábitat al azar conejos maduros de masa unitaria, m_0 . En cada paso los nuevos nacimientos, en camadas de n individuos con una masa inicial que es una fracción (F) de la masa unitaria, se ubican en la posición del progenitor el cual se sortea al azar entre aquellos conejos que presentan una masa mayor o igual a una mínima, m_{min} . En el caso de que no existan suficientes conejos con masa igual o mayor a m_{min} para dar cuenta de la cantidad de nacimientos estipulada por r_c , se limitan los nacimientos (Esta situación es la de una población de conejos empobrecida con una tasa de nacimientos efectiva, reducida por falta de alimento). Los agentes conejo se mueven en direcciones al azar con una rapidez constante v_c intersecando un cierto número de parches de pasto. Para su subsistencia deben alimentarse y en cada paso, si encuentran alimento, lo realizan de la siguiente manera:

Un conejo de masa m_c tiene una cuota de alimentación máxima posible compuesta por una fracción de su masa para mantenerse a través del factor F_{mant} y otra fracción para crecer a través del factor F_{crec} aplicable sólo si su masa es menor a una masa máxima $m_{máx}$ (para este trabajo la masa de un conejo adulto unitaria).

En su recorrido el agente conejo intenta cubrir esta cuota máxima de alimentación, $C_{máx}$, dada por:

$$C_{máx} = m_{mant} + m_{crec} = F_{mant} * m_c + m_{crec} \quad (1)$$

con

$$m_{crec} = \begin{cases} F_{crec} * m_c & \text{si } m_c < m_{máx} \\ 0 & \text{si } m_c \geq m_{máx} \end{cases}$$

Al llegar a un parche si la densidad es mayor a δ_{min} el conejo consume hasta que cubre C_{max} o hasta que la densidad del parche iguala a δ_{min} . Si cubre C_{max} se computa su nueva masa. Si no cubre la C_{max} , se mueve a los siguientes parches que interseca en su recorrido y repite hasta el último parche o hasta cubrir C_{max} . Al final de este recorrido, $v_c \Delta T$, se guarda la nueva masa del conejo y su estado como **satisfecho** o **hambriento** si cubrió más o no el 50% de la cuota respectivamente. Si inicialmente el conejo está con un estado hambriento, puede consumir vegetación por debajo de la δ_{min} y de esta manera el parche puede desaparecer. Si la masa de un conejo se hace menor a una masa crítica m_{crit} , el conejo muere.

La nueva masa de un conejo se calcula como:

$$m_c(\text{nueva}) = m_c(\text{vieja}) + m_{consumida} - m_{mant} \quad (2)$$

con

$$m_{consumida} \leq C_{máx}$$

De esta manera si el consumo es menor al mantenimiento, la masa del conejo disminuye.

Finalmente, con el registro de la nueva masa del agente conejo, su posición, las nuevas masas y nuevos radios de los parches afectados se pasa al siguiente conejo.

Resultados

Se realizaron simulaciones entre 140 y 400 pasos temporales (días suficientes para llegar al equilibrio final) con los siguientes parámetros (Tabla 1):

R_h [m]	$R_{inicial}$ [m]	d_{min} [$\frac{kg}{m^2}$]	$d_{m\acute{a}x}$ [$\frac{kg}{m^2}$]	r_c	n	F	v_c [m/s]	F_{crec}	F_{mant}	m_{crit} [kg]
100	10 a 20	10	50	0,01	5	0,05	2	0,05 a 0,5	1 a 2	0,05

Tabla1. Valores de los parámetros utilizados en las simulaciones.

En la figura 1 se observan, a cuatro tiempos distintos (0, 80, 120 y 200 días), los parches de vegetación y sus tamaños con un color que representan la densidad desde δ_{min} (azul) a $\delta_{m\acute{a}x}$ (amarillo), así como las posiciones de los conejos existentes (puntos oscuros). Se puede observar también, un comportamiento emergente de “colonización” de áreas con alimento.

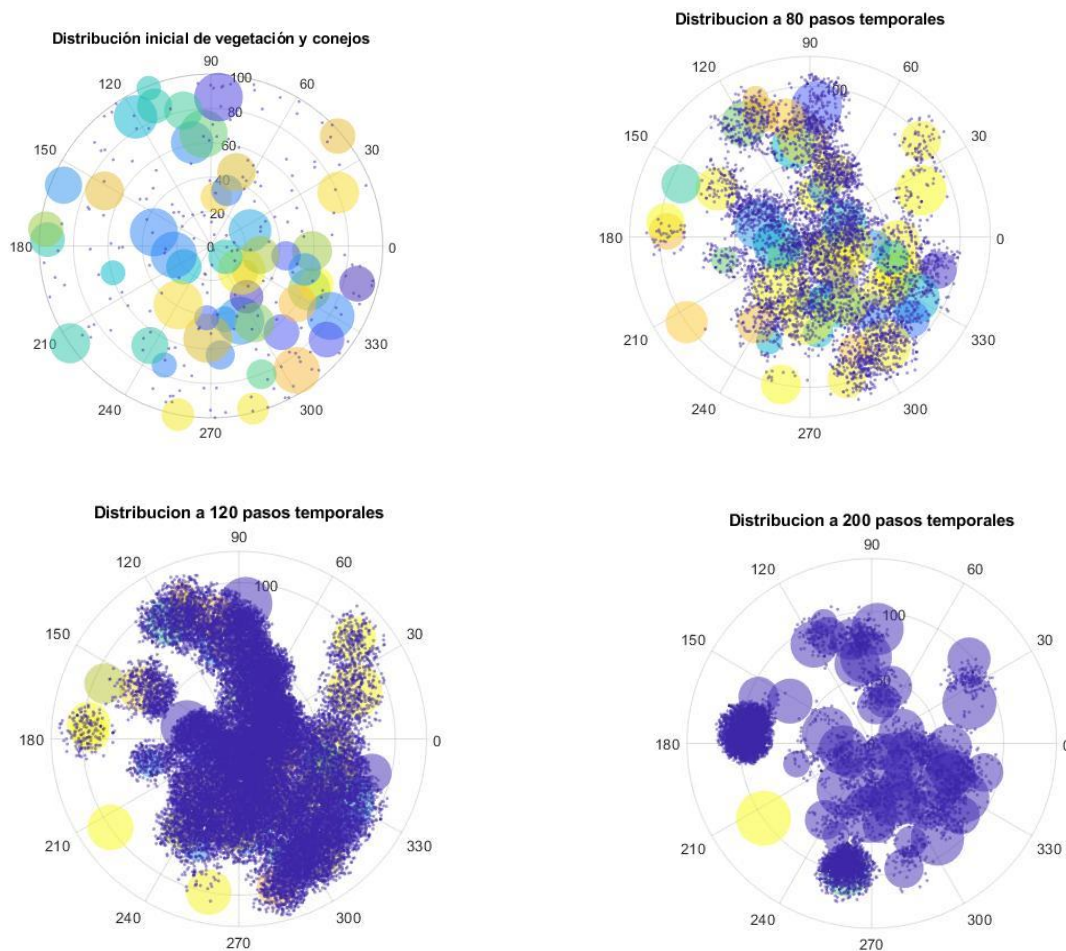


Figura1. Distribución espacial de la vegetación y los conejos a cuatro tiempos distintos (0, 80, 120 y 200 pasos temporales-días). La densidad de los parches se representa en color azul para δ_{min} y en color amarillo para $\delta_{m\acute{a}x}$. Los puntos azul oscuro representan la posición de los agentes conejo.

En la figura 2 se muestra la evolución de la masa total de vegetación y la masa total de conejos en función del tiempo en una corrida típica. Se observa crecimiento hasta un máximo de masa primeramente en vegetación y luego de conejos, seguida de una disminución hasta alcanzar una situación estacionaria con una relación constante entre las masas totales de vegetación y conejos. Se puede notar, que hay una relación de crecimiento y decrecimiento acoplada con desfase. Este comportamiento es propio de la instalación o colonización de áreas

por poblaciones de una especie en ausencia de depredadores. Se observó que este estado final de equilibrio depende fundamentalmente de las necesidades alimenticias de mantenimiento.

En la figura 3 (Izquierda), se muestra el cociente Masa total de vegetación/Masa total de conejos para el estado estacionario para distintos valores de F_{mant} .

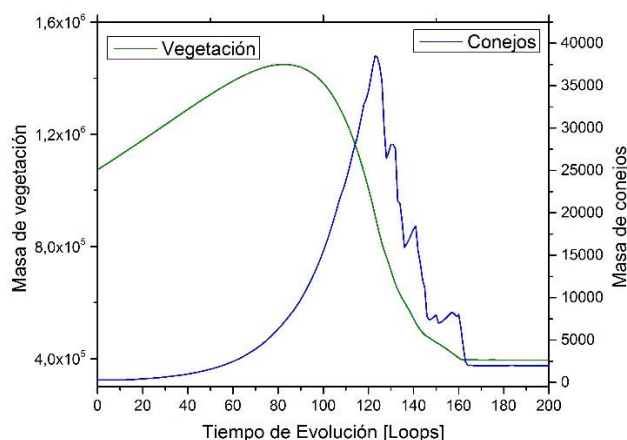


Figura 2. Masa total de vegetación (verde) y Masa total de conejos (azul) en función del tiempo.

Se observó, además que el tiempo para alcanzar el estado estacionario (T_{est}) depende fundamentalmente de las necesidades alimenticias de crecimiento. En la figura 3 (Derecha), se muestra T_{est} para distintos valores de F_{crec} .

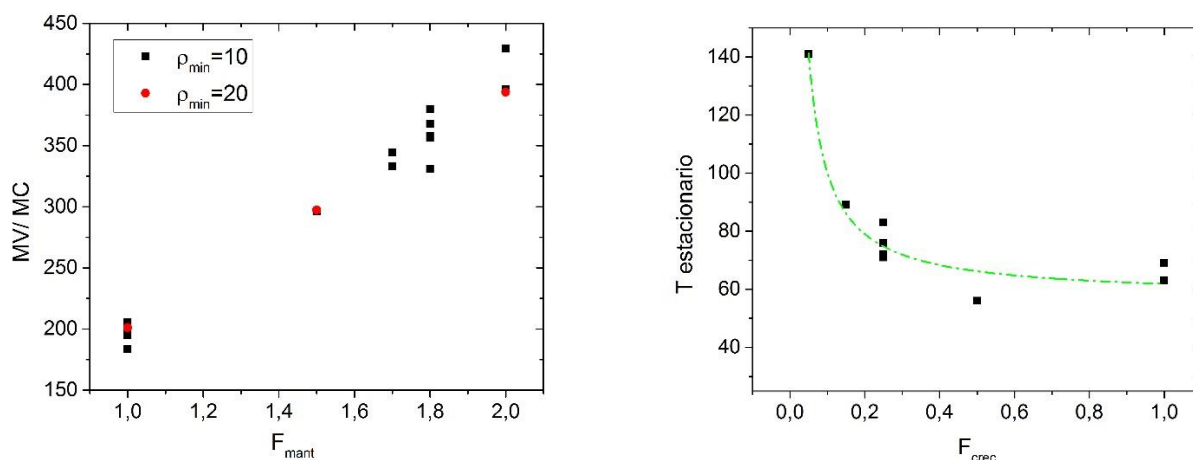


Figura 3 (Izquierda) Cociente de Masa total de vegetación/Masa total de conejos para el estado estacionario versus las necesidades de mantenimiento representadas con distintos F_{mant} . (Derecha). Tiempo para alcanzar el estado estacionario versus las necesidades de alimentación para el crecimiento representadas con distintos valores de F_{crec} . La línea verde interrumpida es sólo cualitativa y pretende poner énfasis en la tendencia que muestran los datos.

Conclusiones

Se desarrolló un código en Matlab para un sistema Multiagente que representa agentes vegetación y agentes conejo. Este sistema, ejecutado en un rango amplio de parámetros, evoluciona espacial y temporalmente de formas típicas en las que lo hacen poblaciones reales en ausencia de depredadores (ausencia de consumidores secundarios). Se alcanzan situaciones estacionarias con distintos estados finales. Se observó que, en la situación final estacionaria, la relación entre Masa Total de vegetación y Masa Total de conejos depende fundamentalmente de las necesidades alimenticias de mantenimiento (F_{mant}) y que el tiempo para alcanzar la situación estacionaria (T_{est}) depende fundamentalmente de las necesidades alimenticias para el crecimiento (F_{crec}). Ambas observaciones son coherentes con situaciones reales.

Este modelado presenta ventajas por su estocasticidad y la posibilidad de complejización mediante el agregado de mayores detalles tanto en el paisaje y clima como en la estructura interna de las poblaciones.

Referencias

- Bousquet, L. y Le Page, C., (2004). "Multi-agent simulations and ecosystem management: a review". *Ecological Modelling*, 176:313-332.
- Bustos, N.; Sánchez C.; Brusa, D.; Re, M.; Britch, J.; (2023) "*Modelado Ecosistémico Alternativo a Lotka-Volterra mediante un sistema Multiagente*". *Revista Tecnología y Ciencia* DOI: <https://doi.org/10.33414/rtyc.47.35-46.2023> - ISSN 1666-6933
- Carmichael, T y Hadzikadic, M. (2019). "The Fundamentals of Complex Adaptive Systems". Doi: 10.1007/978-3-030-20309-2_1. In book: pp 1-16.
- Condit, R., Pitman, N., Leigh, E., Chave, J., Terborgh, J., Foster, R. B., Nuñez, P., Aguilar, S., Valencia, R., Villa, G., Muller-Laundau, H., Losos, E., y Hubbell, 382Rev. (2002). *Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. Vol. 62 (1): 373-383. ISSN-0034-7744)*.
- Delmas, E.; Besson, M.; Brice, M.; Burkle, L.; Dalla Riva, G.; Fortin, M.; Gravel, D.; Guimaraes Jr., P.; Hembry, D.; Newman, E.; Olesen, J.; Pires, M.; Yeakel, J.; Poisot, T. (2018). "Analysing ecological networks of species interactions" *Biological Reviews*. Doi: 10.1111/brv.12433.
- Entrocassi, G., Gavilán, R., Sánchez-Mata, D. (2020). "Vegetation of Yungas (Serranías de Zapla, Jujuy, Argentina): Subtropical Mountain Forest". In: *Subtropical Mountain of Yungas: Vegetation and Bioclimate. Geobotany Studies*. Springer, Cham. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-3-030-25521-3_1
- Frazier, A. (2016). "Surface metrics: scaling relationships and downscaling behavior". *Landscape Ecol* 31:351–363. DOI 10.1007/s10980-015-0248-7.
- Ferber, J., Gutknecht, O., Michel, F. (2004). "From Agents to Organizations: an Organizational View of Multi-Agent Systems". *Agent Oriented Softw. Eng. IV, Lecture Notes in Computer Science 2935*, 214-230. doi:10.1007/978-3-540-24620-6-15.
- Huckeba, G., Andreson, B. y Roach, T. (2022). "Multi-scale spatial ecology analyses: a Kullback information approach" *Landsc Ecol*. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10980-022-01514-9>.
- Jennings, N., Wooldridge, M. (2005). *Applying Agent Technology*. *Appl. Artif. Intell., Appl. Artif. Intell. (USA) 9*, 357-369.
- Leemans, R. (2013). "Ecological Systems". Editorial Springer. ISBN: 978-1-4614-5754-1.
- Lindenmayer, D., Fischer, J. (2006). *Landscape change and habitat fragmentation*. Island Press, Washington, D.C, EEUU.
- Matteucci, S. y Colma, A. (1982) "Metodología para el estudio de la vegetación". Publisher: The General Secretariat of the Organization of American States Editor: Eva V. Chesneau ISBN: 0 8270 1611 5.
- Tassadduq, S., Akhtar, Waheed, M., Bangash, N., Nayab, D., Majeed, M., Abbasi, S., Muhammad, M.; Alataway, A., Dewidar, A. (2022). "Ecological Distribution Patterns of Wild Grasses and Abiotic Factors. Sustainability". vol. 14, issue 18, 1-17.
- Zuccarini, L. y Gerdali, A. M. (2022). "Análisis de la vegetación como componente paisajístico (Buenos Aires, Argentina)". *Boletín geográfico*, 44 (1), 59-80.