

Estudio gráfico de la dinámica poblacional básica de la langosta del desierto mediante simulaciones computacionales

Graphical study of the basic population dynamics of the desert locust using computational simulations

DOI: 10.46932/sfjdv3n6-035

Received in: November 04th, 2022

Accepted in: December 02nd, 2022

María Eugenia Pérez Bonilla

Doctorado en Patología Experimental por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV - IPN)

Institución: Facultad de Ciencias Biológicas (BUAP)

Dirección: Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. México

Correo electrónico: maria.perez@correo.buap.mx

Marleni Reyes Monreal

Doctorado en Ecoeducación

Institución: Instituto Universitario Puebla (IUP)

Dirección: Complejo Cultural Universitario (CCU), Puebla, Pue. México

Correo electrónico: marleni.reyes@correo.buap.mx

Miguel Pérez Escalera

Doctorando en Computación

Institución: Universidad de las Américas Puebla (UDLAP)

Dirección: Ex-Hacienda Santa Catarina Mártir S/N Ex-Hacienda Santa Catarina Martir Ex-Hacienda Santa Catarina Mártir, 72810 San Andrés Cholula, Pue., México

Correo electrónico: miguel.escalera@correo.buap.mx

Arturo Reyes Lazalde

Doctorado en Investigación Biomédica Básica (UNAM)

Institución: Facultad de Ciencias Biológicas (BUAP)

Dirección: Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. México

Correo electrónico: arturoreyeslazalde@gmail.com

RESUMEN

La interacción entre las matemáticas y la biología ha propiciado el avance de ambas disciplinas. Resulta oportuna la implementación de cursos multidisciplinarios que pongan en contexto la realidad biológica con los modelos matemáticos que la reproduzcan o expliquen. Con el objetivo de motivar la sinergia entre estas dos disciplinas, se abordó el estudio de la dinámica poblacional de la langosta del desierto en estado gregario. Los enjambres de langosta se desplazan a grandes distancias causando extensos daños en las plantaciones. De los desastres causados se entiende la importancia económica y biológica del tema. En este contexto se pretende enfrentar al alumno de biología a un problema real para explorar su modelación matemática. Se implementó en la computadora mediante el lenguaje Visual Basic® 6.0 un simulador que permita observar los cambios poblacionales de la langosta del desierto. El simulador utiliza un modelo matemático sencillo que puede ser explicado y resuelto por el profesor al mismo tiempo que se realizan simulaciones del comportamiento poblacional. Se muestra cómo una sola ecuación genera una dinámica compleja que lleva al caos. El simulador es ejecutable en ambiente Windows® y no se requiere del conocimiento de programación, ni del uso de ningún otro programa.

Palabras-clave: interacción matemáticas-biología, simulador poblacional de la langosta, software didáctico.

ABSTRACT

The interaction between mathematics and biology has stimulated the advancement of both disciplines. The implementation of multidisciplinary courses that put biological reality in context with the mathematical models that reproduce or explain it, is timely. With the objective of motivating the synergy between these two disciplines, the study of the population dynamics of the desert locust in a gregarious state was addressed. Locust swarms travel great distances causing extensive damage to plantations. The economic and biological importance of the subject is understood due to the disasters caused. In this context, it is intended to challenge the biology student with a real problem to explore its mathematical modeling. A simulator that allows to observe the population changes of the desert locust was implemented in a computer using the Visual Basic® 6.0 language. The simulator uses a simple mathematical model that can be explained and solved by the teacher at the same time that population behavior simulations are carried out. It shows how a single equation generates a complex dynamic that leads to chaos. The simulator is executable in a Windows® environment and programming knowledge is not required, no the use of any other program.

Keywords: mathematics-biology interaction, desert locust population simulator, didactic software.

1 INTRODUCCIÓN

Existe una sinergia entre la biología y las matemáticas que ha propiciado el desarrollo de ambas disciplinas. Es conveniente que esta relación se muestre dentro de los cursos de biología y de matemáticas, o mejor en cursos multidisciplinarios. Se plantea la necesidad de llevar a cabo cambios en los modelos de enseñanza de estas dos áreas en la educación superior actual. Donde se enfatice el enfoque de las matemáticas al servicio de la realidad y de la realidad al servicio de las matemáticas (De la Ossa & De la Ossa-Lacayo, 2010). En este sentido se plantea el estudio de la dinámica de población de la langosta del desierto (*Schistocerca gregaria*) y la implementación computacional de un modelo matemático simple que la reproduzca.

La langosta *Orthoptera: Acrididae* es una especie de saltamontes. Se distinguen dos fases relacionadas con la densidad de su población: (1) solitaria relacionada con una baja población y (2) migratoria gregaria relacionada con una alta población (Simpson & Sword, 2008). Estas fases de comportamiento son invertibles. Los mecanismos de este cambio de fase de solitaria a gregaria es conocida y se han buscado cuáles estímulos la condicionan. Simpson y colaboradores sugieren que el comportamiento que siembra la formación de enjambres ocurre cuando los individuos se tocan regularmente las patas traseras (Simpson et al., 2001). Los procesos ecológicos que subyacen a la formación de enjambres son poco conocidos. Los cambios dependientes de la densidad poblacional se asumen que son un proceso adaptativo para migrar a condiciones medioambientales heterogéneas (Sword et al., 2000). Se trata de un polifenismo donde se reciben señales ambientales para determinar que morfotipo se debe desarrollar. Polifenismo en morfología, anatomía, coloración, desarrollo, reproducción,

fisiología, bioquímica, biología molecular, comportamiento, y ecología química (Pener & Simpson, 2009). En cada condición los individuos tienen características de fase. Se han descrito diferentes patrones de color para cada fase. En la fase solitaria predomina el color verde, mientras que en la fase gregaria el negro con amarillo (Sword et al., 2000). La maduración, tiempo que transcurre entre la muda y el estadio adulto, es más corto en especies gregarias (por efecto de feromonas). Machos maduros facilitan la madurez de otros machos. Esta característica de fase posibilita la formación de enjambres. En etapa de tolva puede formar masas cohesivas llamadas bandas de tolva. Las langostas migratorias de África, Asia y Australia (*Locusta migratoria*) pueden formar enjambres cuyo comportamiento depende de la densidad poblacional (Topaz et al., 2012). Los enjambres de langostas pueden contener miles de millones de insectos y viajar grandes distancias. En 1988 se reportó que enjambres de África Occidental llegaron a América a través del Océano Atlántico (Simpson & Sword, 2008). La langosta *Schistocerca* gregaria es el miembro migratorio más devastador de todas las especies de langostas. Las langostas migratorias del desierto consumen su peso por día. Un solo kilómetro cuadrado puede contener hasta 80 millones de adultos, con una capacidad de consumir alimentos en un día como 35 mil personas (Mamo & Bedane, 2021). Oleadas de enjambres de esta magnitud pueden causar daños a los cultivos a una gran escala amenazando la seguridad alimentaria. Anteriormente, la invasión por langostas del desierto tenía una frecuencia alta con períodos de recesión cortos y con invasiones que duraban décadas. El incremento actual de la langosta del desierto ha sido muy devastadora y recuerda situaciones vividas hace mucho tiempo. En julio de 2019, en el cuerno de África, Oriente Medio, y sur de Asia la afectación por plagas de langosta fue muy importante. La Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) determinó que el daño ocasionado por enjambres de langosta ha sido el peor en Etiopía y Somalia en 25 años; en la India en 26 años; y Kenia en 70 años (Cressman & Dobson, 2001). Los grandes daños causados por sendas plagas de langostas motivan su estudio debido a las implicaciones económicas. El interés biológico se centra en buscar alternativas para contener estas plagas. Se han desarrollado modelos matemáticos que reproducen el comportamiento gregario de la langosta. Algunos modelan el cambio de fase (Topaz et al., 2012), otros están relacionados con la prevención de los brotes (Mamo & Bedane, 2021), o con los mecanismos del orden (individual) al desorden (gregario) (Buhl et al., 2006), y con la dinámica de estos grupos (Lett & Mirabet, 2008).

Cuando las matemáticas están inconexas de la realidad suelen ser difíciles de comprender para alumnos de otras disciplinas. Proponemos integrar el tópico biológico presentado aquí para destacar la importancia de las matemáticas en biología. Utilizamos para el desarrollo de un simulador un modelo matemático sencillo de la reproducción de langosta del desierto con la finalidad de mostrar cómo un modelo de esta simplicidad puede generar comportamientos complejos e incluso llevar al caos.

El objetivo de este trabajo es contar con un simulador ejecutable que permita visualizar gráficamente las variaciones de la población de la langosta del desierto, desde poblaciones constantes hasta el caos, para ser utilizado en una sala de cómputo en Biología.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó y desarrolló el simulador de las variaciones poblacionales de la langosta de desierto (*Schistocerca gregaria*). Se implementó en el lenguaje de programación Visual Basic® 6.0 para ambiente Windows®.

La población de langostas depende exclusivamente de la generación vigente y no de generaciones anteriores. Los cambios poblacionales siguen la siguiente ecuación (Ecuación 1)

$$Fx_{(n+1)} = C \cdot x_{(n)} \cdot (1 - x_{(n)}) \quad (1)$$

x son las condiciones iniciales expresadas de 0 a 1, $F(x)$ número de langostas reproducidas, C es el índice de reproducción, n generación vigente.

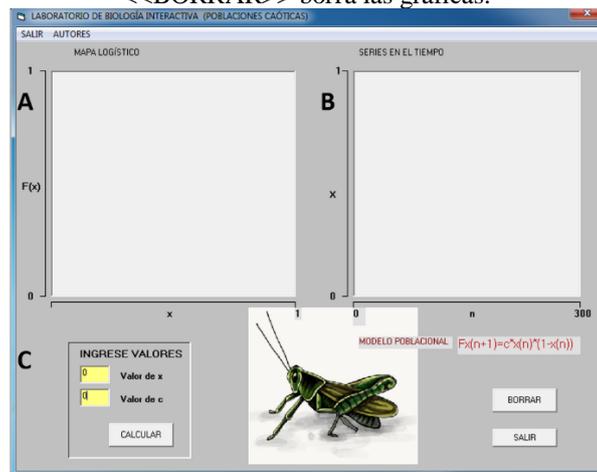
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se diseñó y desarrolló un simulador para estudiar gráficamente el cambio poblacional de la langosta del desierto.

3.1 INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de usuario está formada por dos áreas de graficado: (A) gráfica para relacionar $F(x)$ vs x , (B) gráfica para relacionar x vs n . Debajo, se localiza un área (C) para el ingreso de x (para valores de 0 a 0.9) y de C (con valores de 0 a 4) (Figura 1).

Figura 1. Interfaz de usuario del simulador Poblalr. (A) Área para la gráfica de $F(x)$ con respecto a x . (B) área para la gráfica x con respecto a n . (C) área de entrada de datos. El botón <<CALCULAR>> genera las gráficas correspondientes. El botón <<BORRAR>> borra las gráficas.

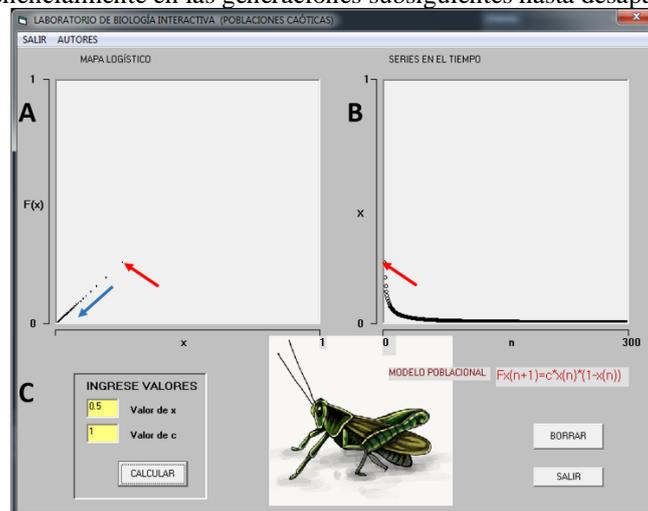


3.2 EJEMPLOS DE LA DINÁMICA POBLACIONAL EN DIFERENTES CONDICIONES

(a) Condición $x = 0.5$ y $C = 1$.

En estas condiciones se observa cómo la población disminuye hasta extinguirse después de varias generaciones (Figura 2).

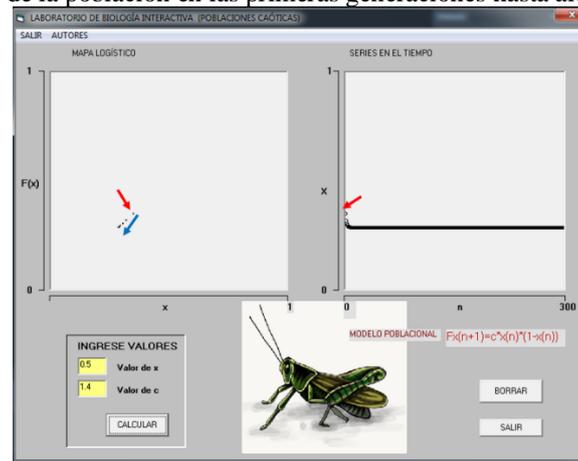
Figura 2. Simulación de una población de langostas que se extingue. (A) se observa cómo se inicia con una población (flecha en rojo) y cómo disminuye hasta llegar a cero. (B) se muestra la gráfica del número de langostas y cómo disminuye exponencialmente en las generaciones subsiguientes hasta desaparecer.



3.3 EFECTO DE INCREMENTAR C DE 1 A 1.4

La siguiente simulación muestra el efecto de incrementar el índice de crecimiento. En este caso la población inicial disminuye exponencialmente hasta llegar a un valor constante desde las primeras generaciones (Figura 3).

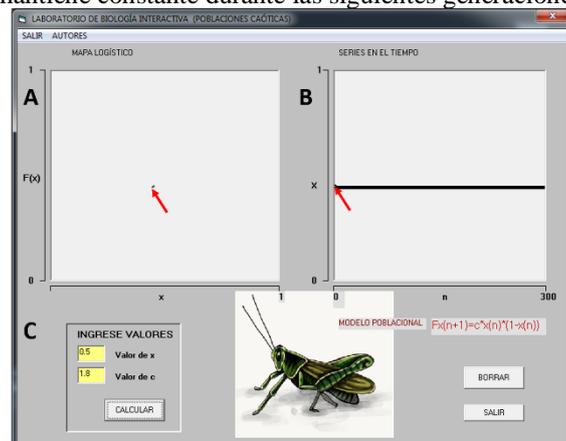
Figura 3. Simulación con un aumento del índice de crecimiento. (A) Disminución de la población hasta un valor constante. (B) disminución exponencial de la población en las primeras generaciones hasta alcanzar una población constante.



3.4 EFECTO DE INCREMENTAR C A 1.8

Un incremento de C a 1.8 produce una población estable desde la segunda generación. El valor de x se mantiene en 0.5 en todos los casos (Figura 4).

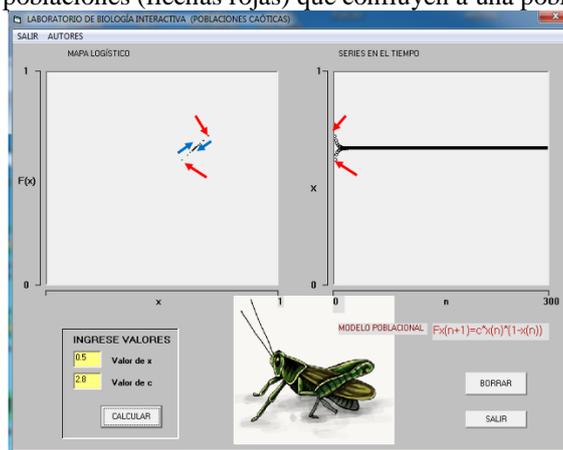
Figura 4. Simulación cuando C tiene el valor de 1.8. (A) Punto único (Flecha roja). (B) La población de langostas se mantiene constante durante las siguientes generaciones.



3.5 EFECTO DE INCREMENTAR C A 2.8

Con valores de 2.8 para C, aparecen dos poblaciones iniciales una con mayor población que la otra (flechas rojas). En las siguientes generaciones las dos poblaciones cambian su número, una decrece y la otra se incrementa hasta confluir en una población estable (Figura 5).

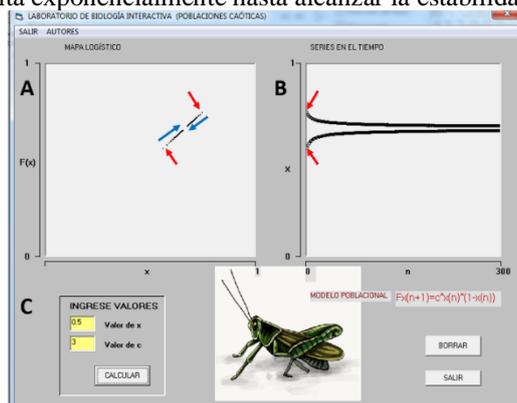
Figura 5. Generación de dos poblaciones (flechas rojas) que confluyen a una población estable (flechas azules).



3.6 EFECTO DE INCREMENTAR C A 3

En estas condiciones se generan dos poblaciones, una de mayor tamaño que la otra (flechas rojas). En las siguientes generaciones ambas llegan a formar poblaciones estables diferentes.

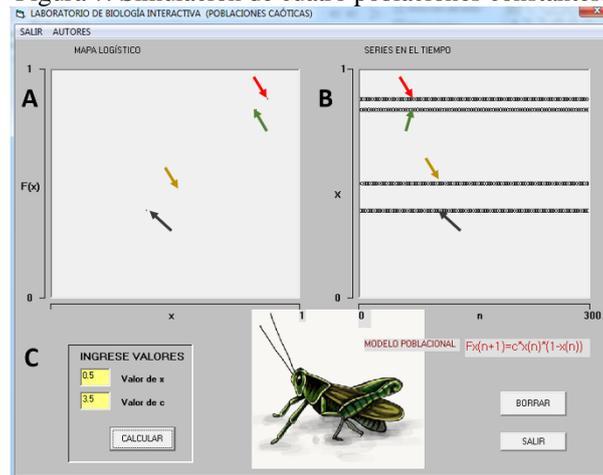
Figura 6. Simulación de dos poblaciones con cinéticas diferentes. Una disminuye exponencialmente hasta alcanzar una estabilidad. La otra se incrementa exponencialmente hasta alcanzar la estabilidad en las siguientes generaciones.



3.7 EFECTO DE INCREMENTAR C A 3.5

Un incremento de C a 3.5 produce cuatro poblaciones estables (flechas de diferentes colores). Cada población permanece constante durante las siguientes generaciones.

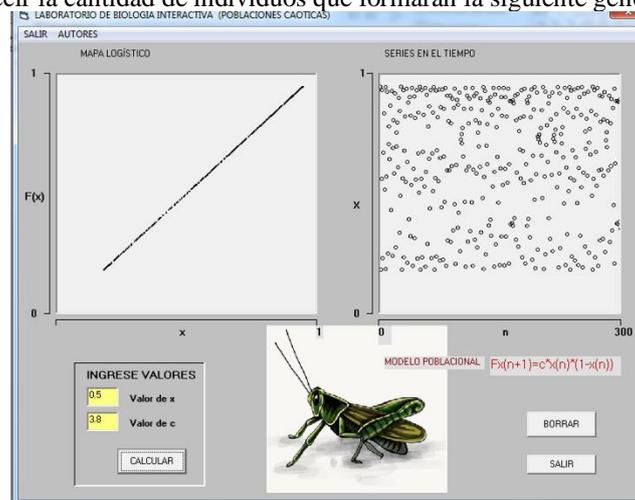
Figura 7. Simulación de cuatro poblaciones constantes.



3.8 EFECTO DE INCREMENTAR C A 3.8

Un incremento de C a 3.8 o mayor produce caos. En estas condiciones no se puede determinar el valor de la población en ninguna de las generaciones (Figura 8).

Figura 8. Simulación de caos en la población de la langosta del desierto. En las gráficas se muestra cómo las condiciones de una mayor madurez y reproducción pueden generar diferentes poblaciones en número en cada generación. Es imposible predecir la cantidad de individuos que formarán la siguiente generación.



4 CONCLUSIONES

Los educadores se encuentran en la búsqueda de alternativas para la enseñanza de las matemáticas. Una posibilidad es el uso de estrategias lúdicas que puedan ayudar a convertir las matemáticas en algo atractivo (Saragosa-Ferreira & Ferreira dos Santos, 2020). El simulador descrito en este trabajo pretende involucrar a los alumnos de Biología en el estudio de las matemáticas aplicadas a esta ciencia. Se implementó un modelo matemático relativamente sencillo para simular la reproducción de la langosta del desierto. Los alumnos pueden observar cómo al aumentar el valor del índice de reproducción, las poblaciones producidas en las generaciones siguientes cambian drásticamente, incluso hasta llegar al caos.

En la ecuación utilizada el valor de C implica cambios de fase tales como un tiempo de madurez más corto, debido a feromonas y a la estimulación entre langostas de la pata posterior, mecanismos que propician el paso al estado gregario. Se recomienda usar este simulador al mismo tiempo que se explica y resuelve la ecuación por el profesor.

REFERENCIAS

- Buhl, J., Sumpter, D. J. T., Couzin, I. D., Hale, J. J., Despland, E., Miller, E. R., & Simpson, S. J. (2006). From disorder to order in marching locusts. *Science*, *312*(5778), 1402–1406. <https://doi.org/10.1126/science.1125142>
- Cressman, K., & Dobson, H. M. (2001). Desert locust guidelines. *FAO Agriculture Department*. https://www.unisdr.org/files/3702_guidelines2.pdf
- De la Ossa, L. S., & De la Ossa-Lacayo, A. (2010). Relación entre la enseñanza de las matemáticas y las ciencias biológicas. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, *2*(1), 163. <https://doi.org/10.24188/recia.v2.n1.2010.340>
- Lett, C., & Mirabet, V. (2008). Modelling the dynamics of animal groups in motion. *South African Journal of Science*, *104*(5–6), 192–198.
- Mamo, D. K., & Bedane, D. S. (2021). Modelling the Impacts of Early Intervention on Desert Locust Outbreak Prevention. *Journal of Applied Mathematics*, *2021*. <https://doi.org/10.1155/2021/5538300>
- Pener, M. P., & Simpson, S. J. (2009). Locust Phase Polyphenism: An Update. In *Advances in Insect Physiology* (Vol. 36, Issue 08). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)36001-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)36001-9)
- Saragosa-Ferreira, H., & Ferreira dos Santos, D. (2020). Abracadabra: mathematics in a magic trick. *South Florida Journal of Development*, *1*(3), 122–127. <https://doi.org/10.46932/sfjdv1n3-007>
- Simpson, S. J., Despland, E., Hägele, F. B., & Dadgson, T. (2001). Gregarious behavior in desert locusts is evoked by touching their back legs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *98*(7), 3895–3897. <https://doi.org/10.1073/pnas.071527998>
- Simpson, S. J., & Sword, G. A. (2008). Locusts. *Encyclopedia of Animal Behavior*, *18*(9), R364–R366. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.01204-8>
- Sword, G. A., Simpson, S. J., El Hadi, O. T. M., & Wilps, H. (2000). Density-dependent aposematism in the desert locust. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *267*(1438), 63–68. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.0967>
- Topaz, C. M., D’Orsogna, M. R., Edelstein-Keshet, L., & Bernoff, A. J. (2012). Locust Dynamics: Behavioral Phase Change and Swarming. *PLoS Computational Biology*, *8*(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002642>