

2014-01-01

¿Podemos predecir el ataque de los insectos transmisores de enfermedades?

Raúl Hernando Pardo Puentes

Universidad de La Salle, Bogotá, rpardo@unisalle.edu.co

Myrian Elena Vergara Morales

Universidad de La Salle, Bogotá, mvergara@unisalle.edu.co

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/bi>

Citación recomendada

Pardo Puentes, Raúl Hernando and Vergara Morales, Myrian Elena (2014) "¿Podemos predecir el ataque de los insectos transmisores de enfermedades?," *Biodiversidad Colombia*: No. 3 , Article 3.

Disponible en:

This Artículo de Divulgación is brought to you for free and open access by the Revistas descontinuadas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Biodiversidad Colombia by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Raúl Hernando Pardo Puentes
Biólogo, PhD.
Universidad de La Salle
rpardo@unisalle.edu.co

Myrian Elena Vergara Morales
Matemática, MSc.
Universidad de La Salle
mvergara@unisalle.edu.co



¿PODEMOS PREDECIR EL ATAQUE DE LOS INSECTOS TRANSMISORES DE ENFERMEDADES?

Varias especies de insectos transmiten agentes causantes de enfermedades; por ello, es importante conocer su biología y ecología, en particular los factores que condicionan su abundancia y distribución, a fin de mejorar y desarrollar métodos de control. Una nueva herramienta en la lucha contra estos insectos es la modelación con técnicas computacionales, las cuales permiten predecir el comportamiento de las poblaciones en el tiempo y simular diversos escenarios que las pueden afectar.

El proceso de modelación por computadoras es a la mente humana como lo que el microscopio y el telescopio han sido para los ojos.

Los insectos son causantes de graves enfermedades que afectan a los humanos como la malaria, el dengue, la leishmaniasis y la enfermedad de Chagas, siendo las dos primeras las más importantes. De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), anualmente se presentan 250 millones de casos de malaria, causados por parásitos del género *Plasmodium*, que son transmitidos a los humanos por mosquitos del género *Anopheles* (figura 1). Con relación al dengue, cada año se infectan entre 50 y 100 millones de personas. El dengue, causado por un virus, es transmitido por mosquitos del género *Aedes* (figura 2). Estas enfermedades afectan a la población más pobre y vulnerable, y en muchas ocasiones pueden causar la muerte; por ejemplo, anualmente mueren por malaria un millón de personas. Por



Figura 1. Mosquito *Anopheles albimanus* mientras se alimenta de sangre humana. La gota de líquido excretada del abdomen ayuda a concentrar la sangre ingerida para disminuir el peso del mosquito y facilitar su escape

Fuente: Raúl H. Pardo.



Figura 2. Mosquito *Aedes aegypti* mientras se alimenta de sangre humana. Este mosquito se reconoce por que presenta en la parte superior del tórax unas líneas claras en forma de lira, y sus patas tienen bandas negras y blancas alternas

Fuente: Raúl H. Pardo.

lo anterior, conocer la biología y ecología de los insectos transmisores de enfermedades puede contribuir en el diseño y mejoramiento de los métodos de control de estos, reduciendo así las enfermedades.

El estudio de los insectos vectores de enfermedades es complejo. Por ello, se requieren herramientas para comprender la *dinámica de sus poblaciones* e identificar puntos vulnerables en estas para desarrollar estrategias de control. Lo anterior se puede lograr con las técnicas de modelación computacional y simulación. Además, la simulación tiene la ventaja de que con ella se puede probar el efecto potencial de medidas de control antes de aplicarlas.

LA DINÁMICA DE POBLACIONES

...

Es una rama de la ecología que se ocupa del estudio de los cambios que sufren las poblaciones biológicas en cuanto a tamaño, dimensiones físicas de sus miembros, estructura de edad y sexo y otros parámetros que las definen, así como de los factores que causan esos cambios y los mecanismos por los que se producen.

ECOLOGÍA DE LAS POBLACIONES DE INSECTOS

Para aplicar técnicas de modelación de poblaciones se requiere el conocimiento detallado de la biología y la ecología de la especie de interés. Entre los aspectos más relevantes para realizar el proceso de modelación se encuentran los siguientes:

La población total

Aunque el común de la gente asocia el peligro del insecto vector de una enfermedad con la presencia y abundancia de determinada fase del ciclo de vida (por ejemplo, el mosquito en su fase adulta), el estudio de la dinámica de la población tiene en cuenta todas las fases (por ejemplo, huevo, larva, pupa y adulto). El total de una población de insectos es la suma de los individuos de distintas edades que se agrupan en las fases de su ciclo de vida. En la figura 3 se representa la población hipotética de un insecto, donde se muestra la contribución de las fases del ciclo de vida al total de la población en diferentes momentos de tiempo.

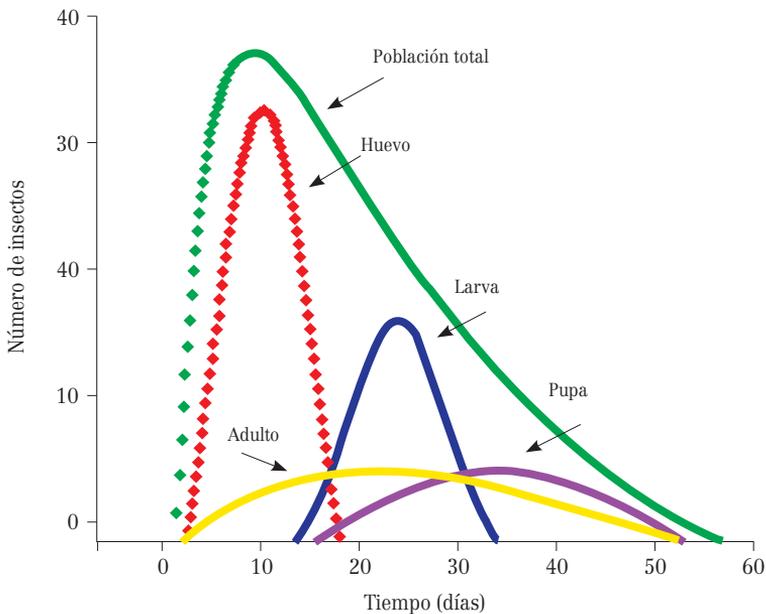


Figura 3. Contribución de las diferentes fases del ciclo de vida de un insecto a la población total (suma de todas las fases)

Natalidad, mortalidad, inmigración y emigración

La abundancia de una población depende de varios factores: los nacimientos (natalidad), la muerte de individuos (mortalidad), los individuos provenientes de otros sitios (inmigración) y los individuos que abandonan la población (emigración) (figura 4). La natalidad y la inmigración adicionan individuos a la población, mientras que la mortalidad y la emigración le restan individuos.

Límite ambiental para mantener la población

Otro factor importante que determina la dinámica de una población es que el ambiente tiene un límite para el número de individuos que puede sostener; es decir, una población no puede crecer de forma ilimitada en un medio, pues hay un número máximo de individuos de la población que se puede mantener de manera sostenible en un área determinada. Esto se conoce como *capacidad de carga* y depende del suministro de recursos (por ejemplo, alimento, agua y espacio).

La forma en que varía el total de la población, sus tasas de natalidad, mortalidad, inmigración y emigración, y los límites ambientales determinan el crecimiento de la población, lo que hace que se observen aumentos y disminuciones en el número total de individuos en el tiempo. La abundancia de la población depende también de otros

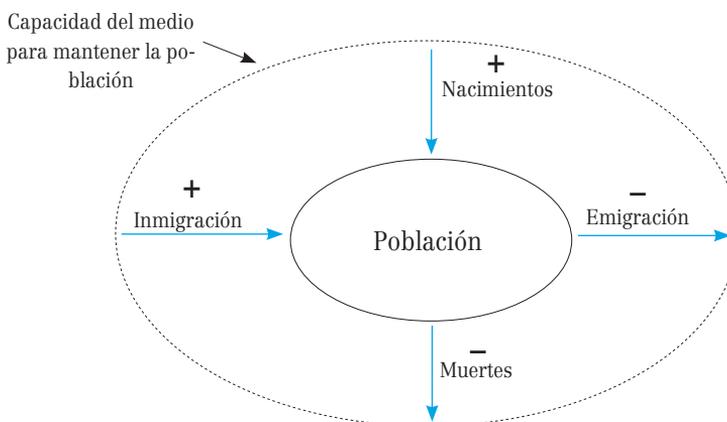


Figura 4. Factores primarios que afectan la abundancia de las poblaciones. Los signos indican si el factor suma o resta individuos a la población

Fuente: Gutiérrez y Wilson (1989).

factores como el clima (por ejemplo, precipitación y temperatura) y de las interacciones con individuos de estas y de otras especies.

Modelación de poblaciones de insectos

En la modelación de las poblaciones de vectores de enfermedades se realiza el siguiente procedimiento:

- 1) Partir de un fenómeno real (por ejemplo, la población de un insecto).
- 2) Abstractar el fenómeno para dejar solo los factores principales que intervienen, visualizándolo en un modelo conceptual, en el que además se representan las interrelaciones entre ellos, así como los factores externos que puedan afectar el sistema.
- 3) Representar las interrelaciones y factores externos, mediante fórmulas matemáticas que son incorporadas al modelo dentro de un programa de computación que las resuelve y permite proyectar el comportamiento de la población de estudio durante un tiempo determinado. Las fórmulas matemáticas se obtienen de observaciones de campo y experimentos en el laboratorio. Por ejemplo, la mortalidad en mosquitos se determina con base en tablas de vida (tabla de mortalidad por categorías de edad) partiendo del estado de huevo hasta el de adulto.
- 4) Con base en los resultados del modelo, sacar conclusiones y hacer predicciones sobre la dinámica poblacional en estudio, utilizando valores o situaciones hipotéticas.

Para ilustrar lo anterior, el presente artículo muestra los resultados de un proceso en el que se modeló una población hipotética de insectos usando el programa Stella 10. Como punto de partida se tomó una especie con un ciclo de vida muy sencillo compuesto por dos fases: huevos y adultos (Hannon y Ruth, 2009). Además, para mantener la simplicidad del modelo no se incluyeron factores externos ni otros factores biológicos que pudieran afectar la población hipotética de dicha especie (figura 5).

El modelo conceptual mostrado en la figura 5 evidencia cómo la población de adultos en una fracción de tiempo depende del número de adultos existente, del número de huevos que pasaron a la fase adulta y del número de adultos muertos al final de la fracción de tiempo ante-

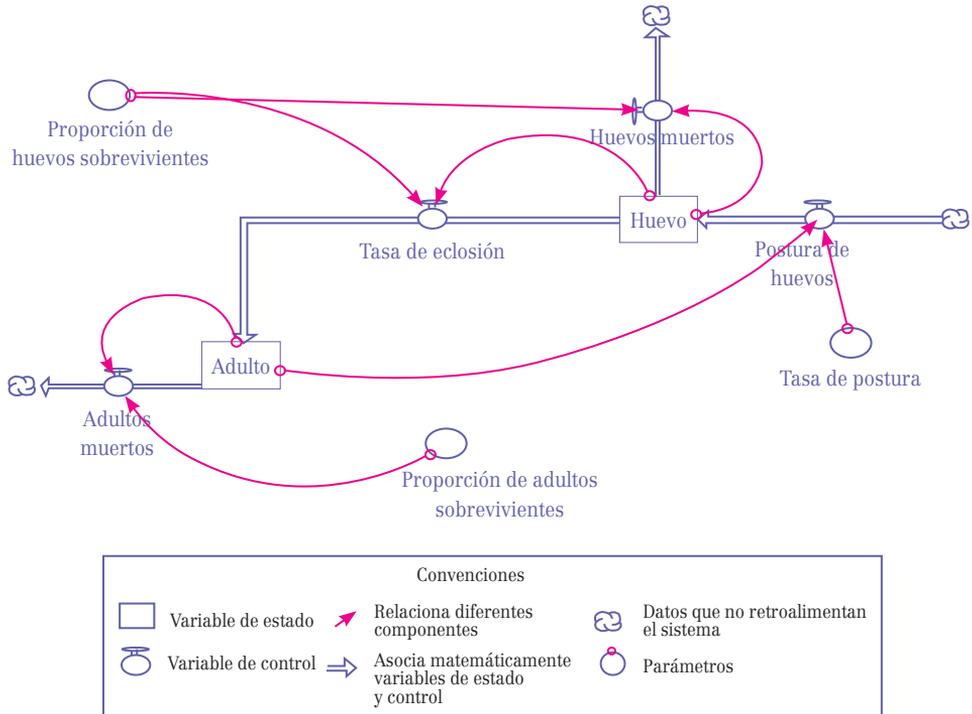


Figura 5. Modelo conceptual de una población hipotética de insectos con un ciclo de vida compuesto por dos fases (huevos y adultos)

rior. A su vez, el número de huevos que pasa a la fase adulta depende de la proporción de huevos sobrevivientes y de su tasa de eclosión. Finalmente, el número de adultos muertos depende de la proporción de adultos sobrevivientes. Los huevos en la misma fracción de tiempo mencionada dependen del número de huevos existentes, de la postura de huevos realizada por las hembras adultas, del número de huevos muertos y del número de huevos que eclosionaron a adulto en la fracción de tiempo anterior. El número de huevos puestos depende del número de hembras adultas y de la tasa de postura de las hembras al final de la fracción de tiempo anterior. Por último, el número de huevos muertos, a su vez, depende del número de huevos y de la proporción de huevos sobrevivientes al final de la fracción de tiempo anterior.

Respecto a la construcción de las interrelaciones matemáticas de los componentes del modelo (por ejemplo, la estimación del número de huevos en un momento de tiempo determinado), este se calcula con la siguiente fórmula:

$$h(t) = h(t - dt) + (h_{\text{puestos}} - h_{\text{eclosión}} - h_{\text{muertos}}) \times dt$$

Donde:

$h(t)$: número de huevos en un momento determinado.

$h(t - dt)$: número de huevos al finalizar el momento de tiempo anterior.

h_{puestos} : tasa de huevos puestos (número de huevos puestos por unidad de tiempo).

$h_{\text{eclosión}}$: tasa de huevos que eclosionaron (número de huevos que eclosionaron por unidad de tiempo).

h_{muertos} : tasa de huevos muertos (número de huevos muertos por unidad de tiempo).

dt : unidad de tiempo.

Luego de usar este modelo para simular la dinámica de nuestra población hipotética en un periodo de tres semanas, se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 6. Se aprecia cómo en las dos fases del insecto hay un crecimiento exponencial. Para los adultos, el modelo

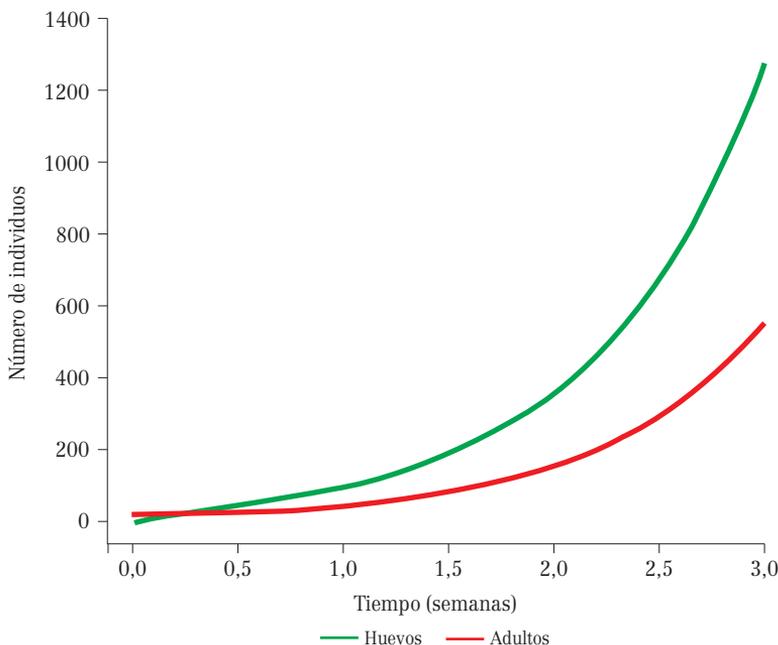


Figura 6. Simulación de la dinámica de la población hipotética de insectos con dos fases en su ciclo de vida

predice que hasta la primera semana la población crece lentamente, pero luego va aumentando muy rápidamente. Si se partiera del hecho de que los insectos presentan un riesgo alto para la transmisión de una enfermedad cuando su abundancia supera los 200 insectos, entonces podemos decir que el riesgo de transmisión comenzará alrededor de las 2,5 semanas (figura 6).

Esta predicción puede permitir la aplicación oportuna de estrategias de control. Si seguimos con la presunción de que a partir de una población de adultos de 200 individuos hay un alto riesgo de transmisión de una enfermedad, esto indicaría que las medidas de control deberían aplicarse antes de que se alcance este número (aproximadamente a las dos semanas). La simulación permite incorporar en los modelos medidas de control para evaluar su posible efecto en la población de mosquitos. Esto puede usarse para preseleccionar las medidas de control, individuales o combinadas, con posibles mejores resultados en el control de los insectos.

La modelación de las poblaciones de insectos viene haciéndose desde hace tiempo con un incremento en la década pasada. En Colombia, sin embargo, las publicaciones sobre el tema son limitadas, a pesar de su importancia. Esto se debe, en parte, al poco conocimiento que hay sobre la biología y la ecología de los insectos en nuestro medio.

Dos estudios recientes muestran el potencial de la modelación en el control de insectos vectores de enfermedades. En el primer estudio, Yusoff *et al.* (2011) modelaron la dinámica de la población de *Aedes aegypti* en la ciudad de Shah Alam, Malasia, teniendo en cuenta el efecto de la precipitación y la temperatura. Se simuló el comportamiento de la población de los mosquitos adultos y se comparó con la incidencia del dengue y la precipitación.

Los resultados mostraron una asociación entre la abundancia del vector y la enfermedad, identificándose un lapso de un mes entre los picos de abundancia del *Aedes aegypti* y los correspondientes picos de casos de dengue. Este tiempo concuerda con la suma de los periodos de viremia en el mosquito, en las personas y el tiempo requerido para una picadura exitosa. Se encontró que la población simulada de mosquitos presentó picos de abundancia en los periodos secos que siguieron a los periodos de lluvias fuertes. Estos hallazgos son valiosos

VIREMIA

...

En este caso es la condición en la que un virus logra entrar al sistema circulatorio del insecto vector o al torrente sanguíneo de las personas.

para la epidemiología, la prevención y el control de la enfermedad. La asociación entre la abundancia del mosquito con los casos de dengue confirma el papel que *Aedes aegypti* tiene como vector. La identificación de los periodos de alto riesgo de contacto humano-mosquito (alta abundancia del vector) permite definir los tiempos en los cuales se deben concentrar las actividades de control.

El segundo estudio, realizado en el distrito de Garki, en Nigeria, tuvo como fin modelar el impacto de varias medidas de control sobre las poblaciones de adultos e inmaduros del insecto *Anopheles gambiae* (White *et al.*, 2011). En el modelo de simulación de la dinámica de la población de *Anopheles gambiae* se incorporaron, además, los modelos del efecto de cuatro medidas de control: 1) toldillos impregnados con insecticida (TII); 2) rociamiento de viviendas con insecticida (RV), ambas dirigidas a los mosquitos adultos (adulticidas); 3) un larvicida, y 4) un pupacida (estos últimos, contra las formas inmaduras).

Los resultados de la comparación del efecto de los adulticidas, en un escenario con un cubrimiento alto (80%), mostraron que el rociamiento fue la mejor medida, porque redujo la densidad de la población simulada de mosquitos en un 75%. La comparación del efecto combinado de las medidas de control mostró que los toldillos

impregnados con insecticida, con alta cobertura (80%), usados simultáneamente con el larvicida o con el pupacida, estos últimos con coberturas bajas, dieron los mejores resultados, porque redujeron la población simulada del vector en un 80%. En un escenario con un bajo cubrimiento de los TII (20%) la mejor combinación fue con el RV, lo que redujo la abundancia del vector en más de un 70%.

Lo anterior muestra la utilidad de la modelación para identificar de forma preliminar combinaciones de medidas de control que pueden actuar sinérgicamente dentro de lo que se conoce como el manejo integrado de vectores (MIV). Por otra parte, no se debe olvidar que los modelos de las dinámicas de poblaciones de vectores son representaciones de la realidad, por lo que tienen limitaciones y siempre son susceptibles de ser mejorados.

MANEJO INTEGRADO DE VECTORES [MIV]

...

Técnicas de control de insectos vectores de enfermedades a partir de las cuales se hace una integración de las medidas apropiadas que desestiman el desarrollo de las poblaciones de insectos, a la vez que mantienen los insecticidas y otras intervenciones a niveles que son económicamente justificados y reducen o minimizan los riesgos para la salud y el medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la asesoría de la profesora Gelys Mestre en la modelación con el programa Stella 10.

BIBLIOGRAFÍA

- Gutiérrez, A. y Wilson, L. (1989). *Development and use of pest models*. Philadelphia: John Wiley & Sons.
- Hannon, B. y Ruth, M. (2009). *Dynamic modeling of diseases and pests*. Nueva York: Springer.
- Koella, J. C. (1991). On the use of mathematical models of malaria transmission. *Acta Tropical*, 49, 1-25.
- Yusoff, N., Budin, H. e Ismail, S. (2012). Simulation of population dynamics of *Aedes aegypti* using climate dependent model. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 62, 77-82.
- White, M. T. *et al.* (2011). Modelling the impact of vector control interventions on *Anopheles gambiae* population dynamics. *Parasites and Vectors*, 153(4), 2-14.

