



Grecia Pérez Mar

Modelo del mosquito con cuatro Stocks

Contexto:

El dengue es una enfermedad infecciosa sistémica, de etiología viral, transmitida por los mosquitos del género *Aedes*, siendo esta una de las principales enfermedades virales transmitidas de forma vectorial y con gran repercusión epidemiológica a nivel mundial. Entre las manifestaciones clínicas se encuentra fiebre, ataque al estado general, hemorragia y en su forma más grave choque hipovolémico que puede llevar a la muerte. En los últimos años se han realizado cambios tanto en diagnóstico, clasificación y descubrimiento de un nuevo serotipo, la caracterización epidemiológica es fundamental para su adecuado seguimiento, tratamiento y prevención (Dehesa & Gutiérrez, 2019). El dengue es la segunda enfermedad humana conocida que es transmitida por medio de un vector (siendo el primero la fiebre amarilla). La Fiebre Amarilla es una enfermedad viral, pertenece a la familia de los *Flaviviridae*, y del género *Flavivirus*. Es una causa importante de enfermedad hemorrágica en varios países de África y norte de Sudamérica, en estas regiones llega a ser una enfermedad endémica. Es transmitida por la picadura del mosquito *Aedes aegypti* y otros mosquitos de los géneros *Aedes*, *Haemagogus* y *Sabethes* (Zúñiga & Lozano, 2017).

Los mosquitos (Diptera: *Culicidae*) incluyen los vectores más importantes de enfermedades humanas. En particular, se ha reconocido la importancia del mosquito *Aedes aegypti* en el ciclo de transmisión de varias enfermedades, principalmente arbovirosis. La globalización impacta la dinámica de transmisión y el papel vectorial de *Ae. aegypti*, debido a factores tales como la urbanización, el crecimiento poblacional, el cambio climático, cambios en el uso de la tierra, incremento en el comercio internacional y el número de viajeros alrededor del mundo (Gómez, 2018).

La medida más efectiva contra el dengue es el control de su insecto vector *Aedes aegypti*. Para tal propósito la acción más común es el uso de insecticidas, lo cual es controversial, porque es caro, sólo afecta a los adultos, induce resistencia y contamina el ambiente. No obstante, el control biológico con predadores naturales de *Aedes aegypti*, como los copépodos (microcrustáceos) ha sido exitoso en varios países (Schaper *et al.*, 1998).

El uso de copépodos, fue implementado después que Fryer encontró que algunas especies de copépodos depredando de larvas de mosquitos. Surgieron así, diferentes trabajos evaluando esta hipótesis, "eficacia de copépodos como un



Grecia Pérez Mar

posible método de control". Otros observaron a *Mesocyclops aspericornis*, depredando larvas de *A. aegypti*, así mismo, evaluaron la efectividad de *Mesocyclops* sp., como controlador de larvas de mosquitos (Duque *et al.*, 2004). Para el diseño del modelo se recreó en Vensim sobre la interacción depredador-presa, entre las especies *Mesocyclops spp* (copépodo) sobre *Aedes aegyptis* (mosquito), basándonos en las variables y parámetros proporcionados por Duque, E., Muñoz, A. & Navarro, M., 2004.

$$H(t) = \beta A(t) - \gamma H(t) - \mu_H H(t)$$

$$L(t) = \gamma H(t) - \delta L(t) - \frac{kC(t)L(t)}{C(t) + m} - \mu_L L(t)$$

$$A(t) = \delta L(t) - \mu_A A(t)$$

$$C(t) = \frac{\varepsilon C(t)L(t)}{C(t) + m} - \mu_C C(t)$$

Donde

β es la Tasa de oviposición de *A. Aegypti*.

γ es la Tasa de transformación de huevos a larvas de *A. aegypti*.

μ_H es la Tasa de inviabilidad natural de huevos de la población del *A. aegypti*

μ_L es la Tasa de mortalidad natural de la población de las larvas de *A. aegypti*.

δ es la Tasa de transformación de las larvas a adulto

μ_A es la Tasa de mortalidad natural de la población de adultos de *A. aegypti*

ε es la Tasa de incremento del copépodo *Mesocyclops* por depredación de *A. Aegypti*

m es la Constante media de saturación

k es la Tasa de captura

μ_C es la Tasa de mortalidad natural del copépodo *Mesocyclops*

Este modelo describe las interacciones entre las poblaciones de huevos, larvas y adultos de *Aedes aegypti* y la población del crustáceo *Mesocyclops spp*. Los puntos clave incluyen:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
CARRERA DE BIOLOGÍA

Grecia Pérez Mar

- ❖ La población de huevos se ve afectada por la oviposición de adultos, la eclosión y la mortalidad de huevos.
- ❖ La población de larvas se ve afectada por la eclosión de huevos, el desarrollo en adultos, la depredación por *Mesocyclops spp.*, y la mortalidad.
- ❖ La población de adultos se ve afectada por el desarrollo de larvas y la mortalidad.
- ❖ La población de *Mesocyclops spp.* crece en función de la disponibilidad de larvas de mosquito y se ve afectada por su propia mortalidad.

Modelo en Vensim

Paso 1. Nuevo modelo.

- ❖ *Tiempo Inicial:* 0
- ❖ *Tiempo final:* 40
- ❖ *Unidades de Tiempo:* Días
- ❖ *Tipo de Integración:* RK4 Auto

Paso 2. Stocks

Para este modelo existen cuatro Stocks

- ❖ H = Población de huevos de mosquito.
- ❖ L = Población de larvas de mosquito.
- ❖ A = Población de mosquitos adultos.
- ❖ C = Población de *Mesocyclops spp.* (crustáceos depredadores).

Debido a la relación de las ecuaciones la posición sugerida de los Stocks es la siguiente:

Grecia Pérez Mar

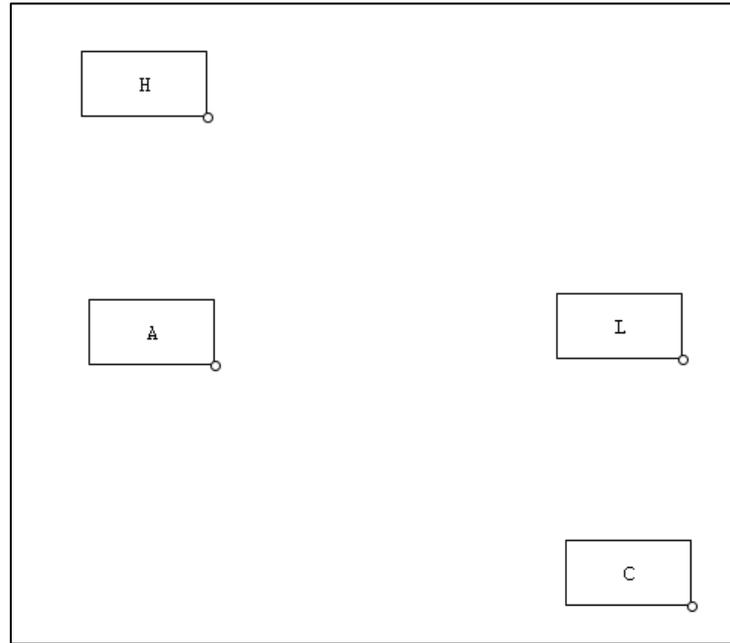


Figura 1. Stocks del modelo

Paso 3. Flujos

$H(t)$ (Huevos de mosquito):

$$H(t) = \beta A(t) - \gamma H(t) - \mu_H H(t)$$

- **Flujos de entrada:**

- $\beta A(t)$: Producción de huevos. Esta tasa (β) depende de la población de mosquitos adultos ($A(t)$) que ponen huevos.

- **Flujos de salida:**

- $\gamma H(t)$: Eclosión de huevos, donde γ es la tasa de eclosión.
- $\mu_H H(t)$: Mortalidad natural de los huevos, donde μ_H es la tasa de mortalidad.

Ecuación para $L(t)$ (Larvas de mosquito):

$$L(t) = \gamma H(t) - \delta L(t) - \frac{kC(t)L(t)}{C(t) + m} - \mu_L L(t)$$



Grecia Pérez Mar

- **Flujos de entrada:**

- $\gamma H(t)$: Las larvas ($L(t)$) provienen de la eclosión de los huevos ($H(t)$).

- **Flujos de salida:**

- $\delta L(t)$: Parte de las larvas se convierten en pupas,
- $\frac{kC(t)L(t)}{C(t)+m}$: Las larvas son depredadas por los crustáceos *Mesocyclops spp.* ($C(t)$). La tasa de depredación depende de ambas poblaciones y muestra un comportamiento de saturación.
- $\mu_L L(t)$: Mortalidad natural de las larvas.

Ecuación para $A(t)$ (Mosquitos adultos):

$$A(t) = \delta L(t) - \mu_A A(t)$$

- **Flujos de entrada:**

- $\delta L(t)$: Los mosquitos adultos ($A(t)$) emergen de las pupas, que a su vez se desarrollaron a partir de larvas ($L(t)$).

- **Flujos de salida:**

- $\mu_A A(t)$: Mortalidad natural de los mosquitos adultos.

Ecuación para $C(t)$ (*Mesocyclops spp.*):

$$C(t) = \frac{\varepsilon C(t)L(t)}{C(t) + m} - \mu_C C(t)$$

- **Flujos de entrada:**

- $\frac{\varepsilon C(t)L(t)}{C(t)+m}$: La población de *Mesocyclops spp.* ($C(t)$) se incrementa al alimentarse de las larvas de mosquito ($L(t)$).

- **Flujos de salida:**

- $\mu_C C(t)$: Mortalidad natural de los *Mesocyclops spp.*

Grecia Pérez Mar

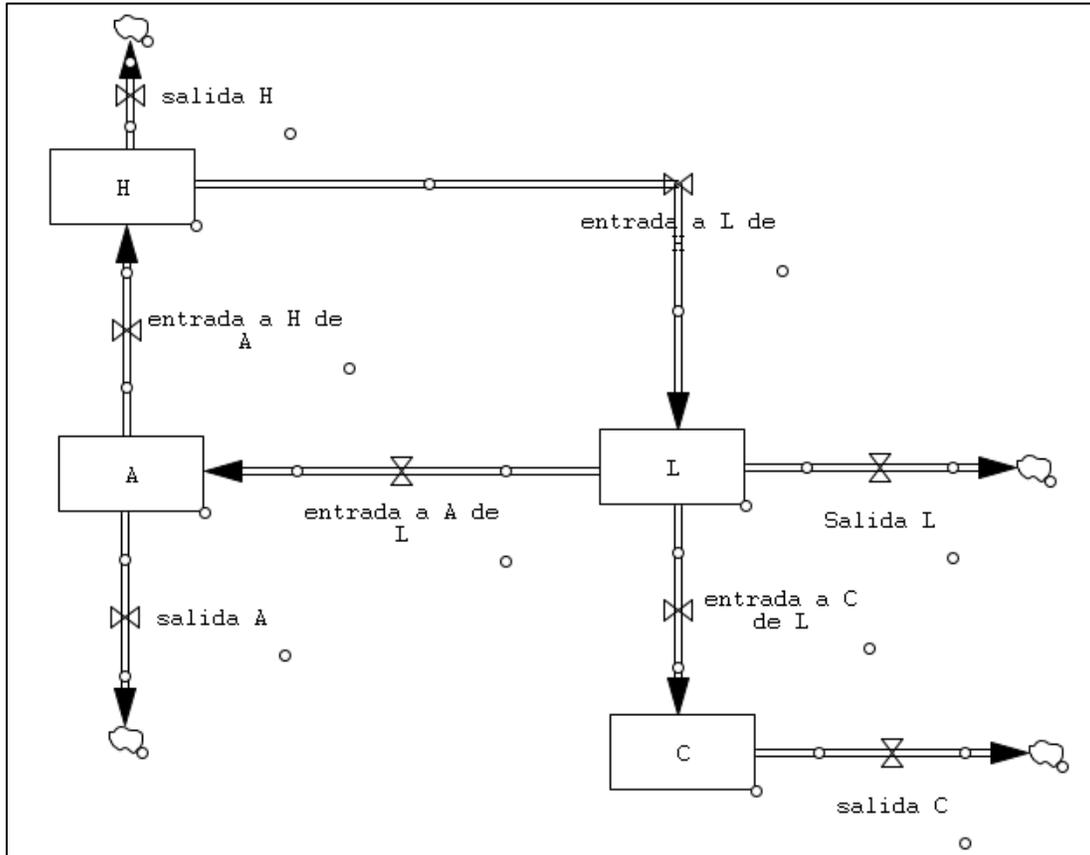


Figura 2. Flujos de entrada y salida conectados a sus respectivos Stocks.

Paso 4. Componentes

Colocar los componentes con la opción de "Variables" lo más próximo al flujo con el que se encuentre relacionado. Los componentes de este modelo son: "Tasa de inviabilidad natural de huevos de la población del *A. aegypti*", "Tasa de transformación de huevos a larvas de *A. aegypti*", "Tasa de oviposición de *A. Aegypti*", "Tasa de transformación de las larvas a adulto", "Tasa de mortalidad natural de la población de las larvas de *A. aegypti*.", "Tasa de mortalidad natural de la población de adultos de *A. aegypti*", "Tasa de captura", "Constante media de saturación" y "Tasa de mortalidad natural del copépodo *Mesocyclops*".

Grecia Pérez Mar

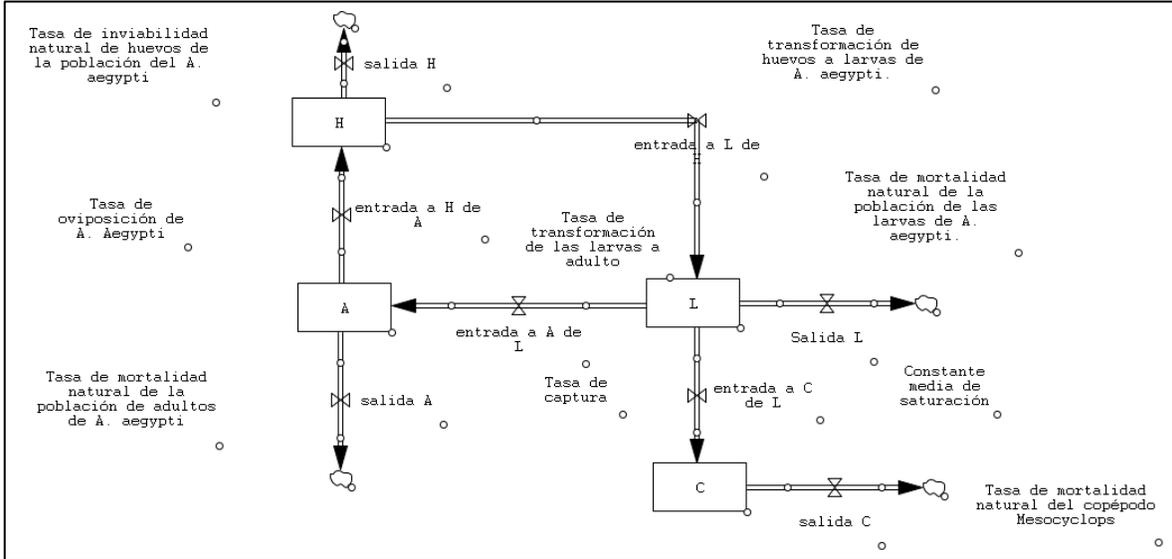


Figura 3. Componentes del modelo

Paso 5. Conexiones

Con la función de "Flechas" establecer las conexiones de los parámetros de acuerdo con la relación establecida en cada una de las ecuaciones del modelo.

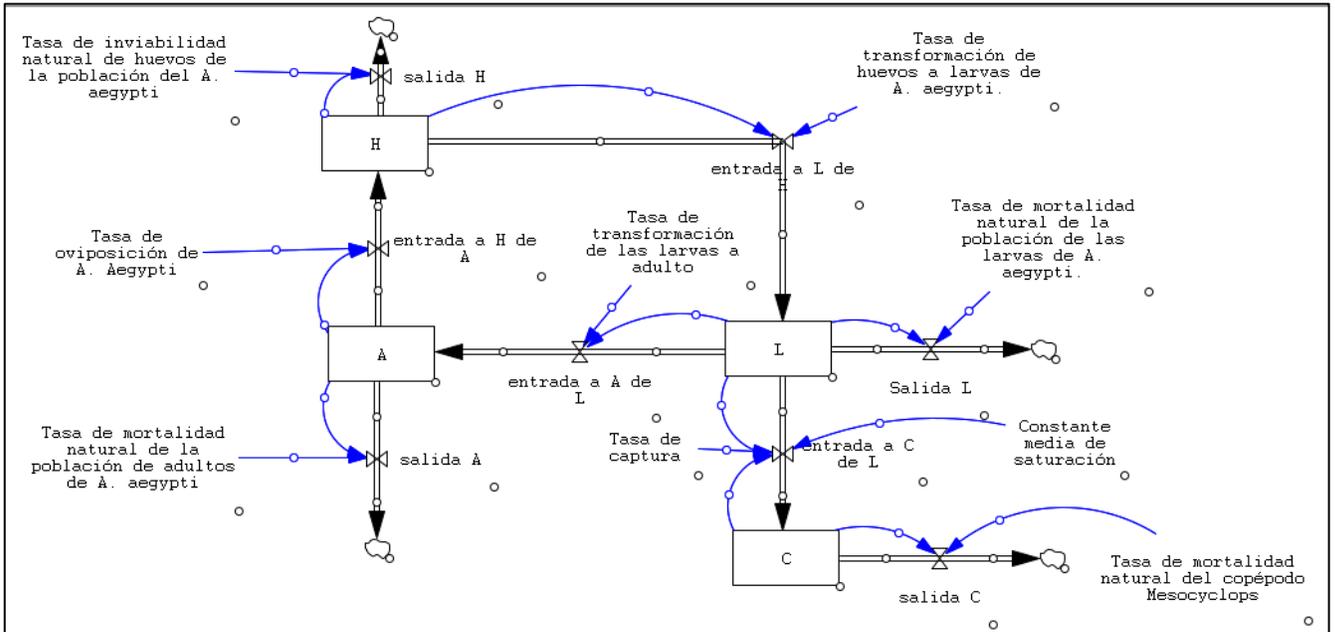


Figura 4. Flechas conectoras del modelo



Grecia Pérez Mar

Paso 6. Ecuaciones

❖ Stocks

❖ H = Valor inicial: 100

❖ L = Valor inicial: 1000

❖ A = Valor inicial: 20

❖ C = Valor inicial: 5

❖ Flujos

❖ **entrada a A de L** = L * Tasa de transformación de las larvas a adulto.

❖ **entrada a C de L** = Tasa de captura * C * L / (C + Constante media de saturación)

❖ **entrada a H de A** = "Tasa de oviposición de *A. Aegypti*" * A

❖ **entrada a L de H** = "Tasa de transformación de huevos a larvas de *A. aegypti*." * H

❖ **salida A** = "Tasa de mortalidad natural de la población de adultos de *A. aegypti*" * A

❖ **salida C** = Tasa de mortalidad natural del copépodo *Mesocyclops* * C .

❖ **salida H** = "Tasa de inviabilidad natural de huevos de la población del *A. aegypti*" * H

❖ **Salida L** = L * "Tasa de mortalidad natural de la población de las larvas de *A. aegypti*."

Componentes

❖ **Tasa de oviposición de *A. Aegypti*** = 0.3

❖ **Tasa de inviabilidad natural de huevos de la población del *A. aegypti*** = 0.286

❖ **Tasa de transformación de huevos a larvas de *A. aegypti***. = 0.714

❖ **Tasa de mortalidad natural de la población de las larvas de *A. aegypti***. = 0.096

❖ **Tasa de transformación de las larvas a adulto** = 0.904

❖ **Tasa de mortalidad natural de la población de adultos de *A. aegypti*** = 0.1

❖ **Tasa de incremento del copépodo *Mesocyclops* por depredación de *A. Aegypti*** = 0.2125



Grecia Pérez Mar

- ❖ **Constante media de saturación** = 0.2125
- ❖ **Tasa de captura** = 0.85
- ❖ **Tasa de mortalidad natural del copépodo *Mesocyclops*** = 0.15

Paso 7. Simulación

Simular el modelo para poder ver el comportamiento de las poblaciones.

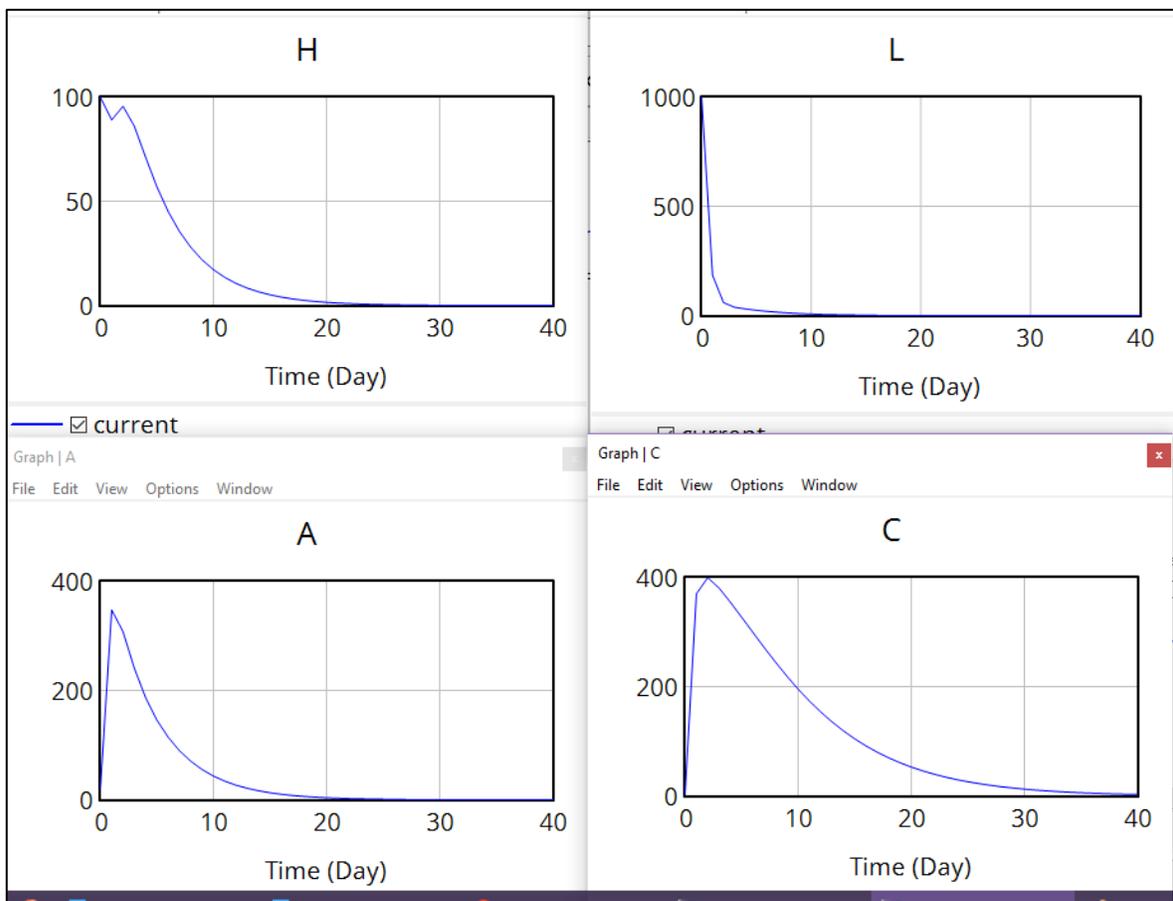


Figura 5. Comportamiento individual de los Stocks H, L, A y C.

Grecia Pérez Mar

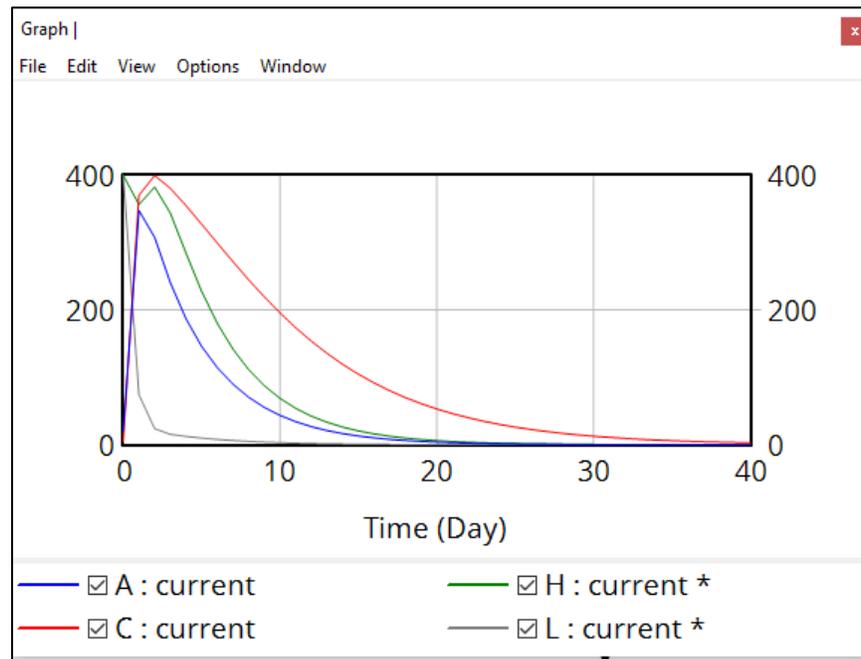


Figura 6. Comparación de las poblaciones del modelo

La rápida disminución en la densidad de huevos y larvas en los primeros días indica un alto éxito en la conversión de huevos a larvas y en la depredación de larvas por los crustáceos. La estabilización a niveles bajos de la población de adultos sugiere que el control biológico y la mortalidad natural están funcionando eficazmente, previniendo el ciclo de vida completo del mosquito. La población de crustáceos también disminuye, pero de manera más gradual, lo que indica que continúan jugando un rol en el control biológico hasta que la población de presas es insuficiente para mantener su densidad.

- Dehesa, E., & Gutiérrez, A. (2019) "Dengue: actualidades y características epidemiológicas en México" *REVMEDUAS*. 9(3). DOI <http://dx.doi.org/10.28960/revmeduas.2007-8013.v9.n3.006>
- Duque, J., Muñoz, A., Navarro, M. (2004) "Modelo de simulación para el control del mosquito *Aedes aegypti*, transmisor del dengue y la fiebre amarilla, por el crustáceo *Mesocyclops spp.*" *Revista de Salud Pública*. 6(1).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
CARRERA DE BIOLOGÍA

Grecia Pérez Mar

- Gómez, G. (2018) “*Aedes (Stegomyia) aegypti* (Diptera: Culicidae) y su importancia en salud humana.” *Revista Cubana de Medicina Tropical*. 70(1).
- Schaper, S., Hernández, F., Soto, L. (1998) “La lucha contra el dengue: control biológico de larvas de *Aedes aegypti* empleando *mesocyclops thermocycloides* (curstácea)” *Revista Costarricense de Ciencias Médicas*. 19(1).
- Zúñiga, I., & Lozano, J. (2017) “Fiebre amarilla: un padecimiento con potencial de reemerger en México.” *Revista Latinoamericana de Infectología Pediátrica*. 30(2).