

Miniproyecto 2

Ciclos de vida de las cigarras y sincronización periódica

El fenómeno de los ciclos de vida de las cigarras y su relación con los primos es abordado por Koenig y Liebhold, 2005, donde se apunta a dos posibles causas: la primera es que, al emerger cada cierto número primo de años, sus encuentros con depredadores disminuyen al no coincidir si no cada tantos años como el producto de sus ciclos reproductivos; la segunda causa que se aborda es el evitar coincidir con otras especies de cigarra con ciclos de vida de distinta longitud en sus temporadas de apareamiento, evitando así la hibridación de especies. Aquí se toma el primer enfoque, que es el abordado por Hoppensteadt y Keller, 1976

En la primera versión que se encuentra en el archivo *cicada_v1.ipynb*, simulé en Python el modelo de Hoppensteadt y Keller, 1976 sin modificaciones con los siguientes parámetros:

- **L**: tiempo de vida de las cigarras (variando entre 2 y 20).
- α : Ratio de supervivencia (variando entre los valores de 0.9, 0.95 y 0.99).
- **K**: Capacidad de carga del sistema (fijo en $K = 10000$).
- x_0 : Población inicial de ninfas (fijo en $x_0 = 100$).
- **f**: Ninfas que puede poner una cigarra adulta (fijo en $f = 10$).
- **R**: Factor de relajación de los depredadores (fijo en $R = 0.95$).
- **A**: Factor de respuesta de los depredadores a la emergencia anterior (fijo en $A = 0.042$).
- **n**: Años que se van a simular (fijo en $n = 200$)
- P_0 : Umbral inicial de depredación (fijo en $P_0 = 10$).

Tomando los valores fijos de los usados en el artículo. En las simulaciones se observa que, para valores de α de 0.9 y 0.95, valores pequeños de L llevan a soluciones balanceadas (Figura 1), es decir, el sistema se estabiliza y las emergencias anuales se vuelven constantes después de algunos ciclos. Esto no pasa para $\alpha = 0.99$, donde las emergencias se sincronizan aún para los valores más pequeños de L (Figura 2).

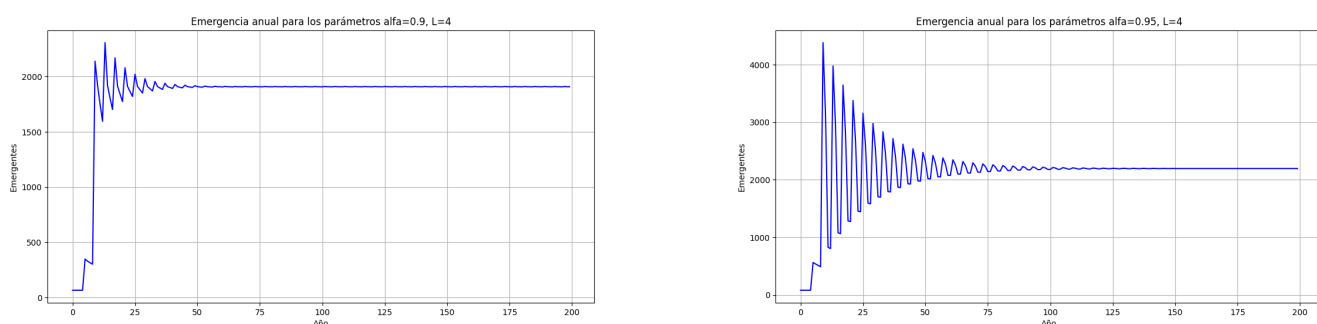


Figura 1: Emergencias balanceadas

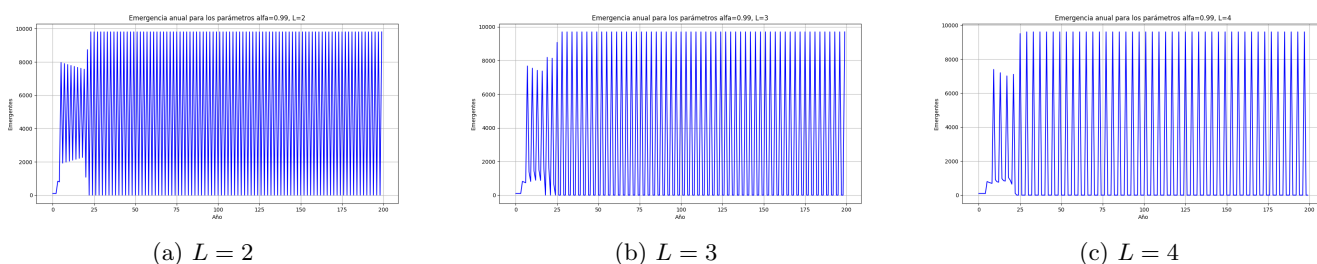


Figura 2: Emergencias sincronizadas en ciclos cortos

Para $\alpha = 0.9$, los ciclos de longitud $L \geq 14$ tienden a morir al poco tiempo. Dado que no hay muchos cambios a los umbrales de depredación, se puede adjudicar esto al bajo porcentaje de supervivencia que se refleja más en ciclos más largos. En este valor de supervivencia, también se observa la muerte de poblaciones con ciclos de $L = 5$ y $L = 6$ (Figura 3a). La curva de descenso de la población se ve de manera similar en las poblaciones que se sincronizan con $L \geq 7$, por lo que la muerte de estas poblaciones se podría interpretar como una «transición» fallida de las emergencias balanceadas a las sincronizadas (Figura 3b). Para $\alpha = 0.95$ y $\alpha = 0.99$ no parece que alguna de las poblaciones muera.

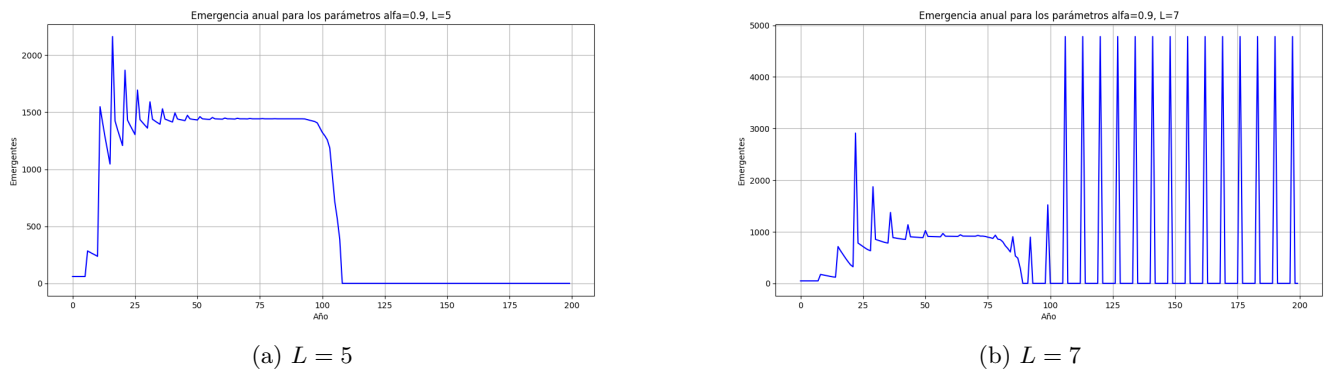


Figura 3: $\alpha = 0.9$

En $\alpha = 0.95$, las emergencias comienzan a sincronizarse para $L = 9$, de manera similar a lo que observan Hoppens-teadt y Keller, 1976 (Figura 4).

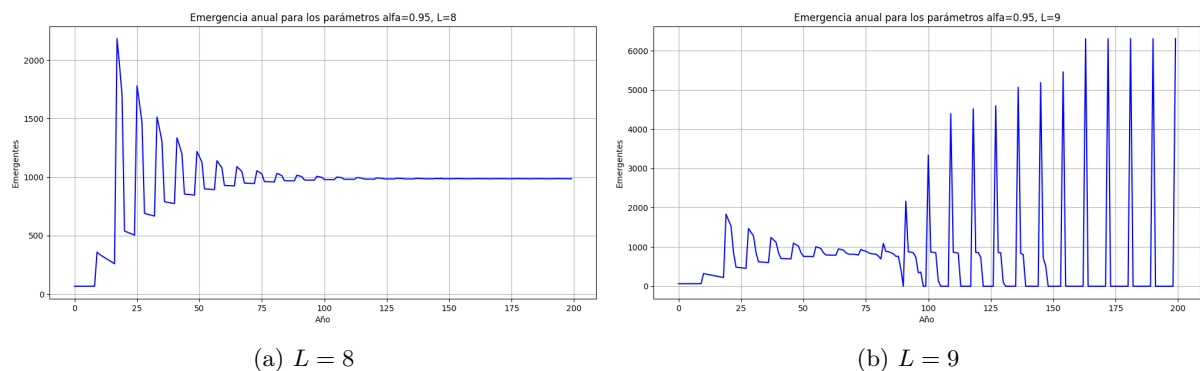


Figura 4: Sincronización con $\alpha = 0.95$

No parece haber una diferencia significativa entre ciclos primos y no primos. En la figura 5 se observan 3 ciclos contiguos para $\alpha = 0.95$. Esto puede atribuirse a que los umbrales de depredación no dependen de un ciclo propio.

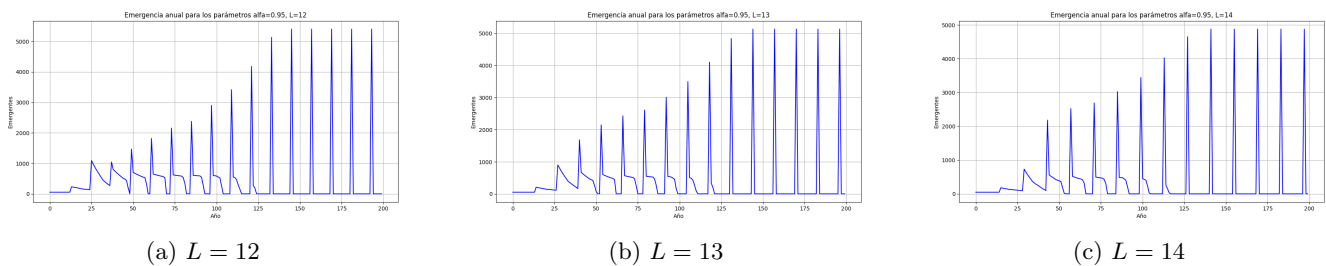


Figura 5: Ciclos primos vs no primos

Observaciones de esta versión

En esta versión, al dejar correr distintos valores de α , añade una capa de dificultad al análisis de resultados. Aunque arroja consideraciones importantes, podría suponer una dificultad innecesaria al agregar al modelo los ciclos de los depredadores.

Otra cosa a tomar en cuenta es que las simulaciones se consideraron a cierto número de años, lo que podría sesgar el análisis, pues para $L = 2$ se están analizando 100 ciclos, mientras que para $L = 20$ solo se están viendo 10.

Para la segunda versión del modelo que se encuentra en *cicada_v2.ipynb*, introduje ciclos propios a la dinámica de los depredadores. Para esto, eliminé las variables \mathbf{R} , \mathbf{A} y P_0 , para utilizar una dinámica basada que parte de la de las cigarras. Para esto, introduje las siguientes variables:

- C : longitud del ciclo de los depredadores (variable entre 4 y 11).
- Q : capacidad de carga de los depredadores (fija en $Q = 2500$).
- y_0 : población inicial de crías de depredadores (fija en $y_0 = 10$).
- g : crías por depredador (fija en $g = 10$).

Además sustituí la variable n de años a simular por una k que determina un número de años igual a kCL . Usé el mismo índice de supervivencia α para los depredadores.

En esta versión, para el umbral de crecimiento de los depredadores, usé como referencia el alimento disponible, muriendo aquellos que no pudieran comer. En este modelo, la sincronización o estabilidad de la población de cigarras dependió directamente de la relación de orden entre L y C . En aquellos sistemas en que $C \leq L$, la población de cigarras se mantuvo estable al igual que la de depredadores (Figura 6a), mientras que cuando $L > C$, los depredadores se extinguieron al quedarse un año sin comida, y la población de cigarras se sincronizó si acaso no se extinguió antes (Figura 6b).

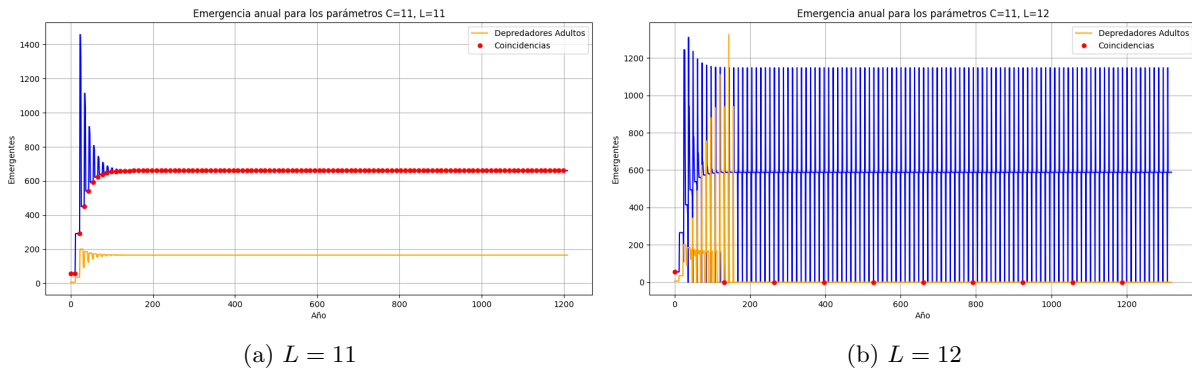


Figura 6: $C = 11$

En el caso en el que $C < L$ y los valores difieren por mucho, los depredadores tienden a reproducirse demasiado antes de que las cigarras crezcan la población lo suficiente para resistir la depredación, por lo que ambas poblaciones se extinguen, como se ve en la figura 7.

Observaciones de esta versión

En esta versión los primos tampoco destacan pues la dinámica depende principalmente del orden entre C y L . Me parece que se debe principalmente a que los depredadores se extinguen abruptamente al primer año sin comida, y esto sucede siempre que su ciclo sea más corto que el de las cigarras.

Para esta tercera versión, encontrado en el archivo *cicada_v3.ipynb*, incluí un parámetro β (fijo en $\beta = 0.95$), que representa el porcentaje de depredadores que mueren por falta de alimento. Esto evita que los depredadores se extingan directamente al primer año sin cigarras. Esto lleva a interacciones interesantes como aquellas combinaciones en las que se sincronizan ambas poblaciones (figura 8).



Figura 7: $C = 7, L = 17$

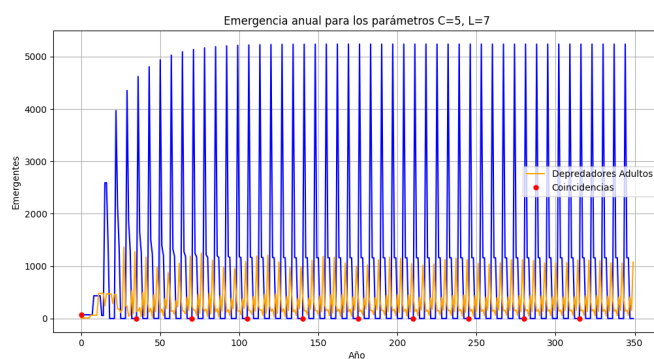
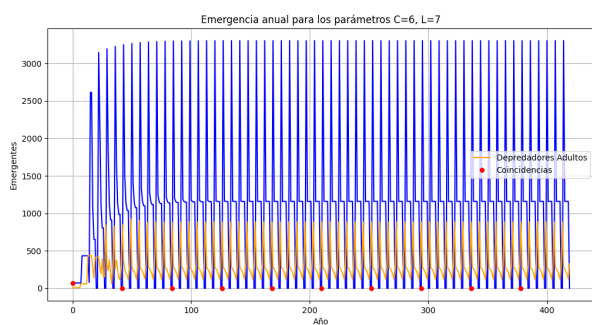
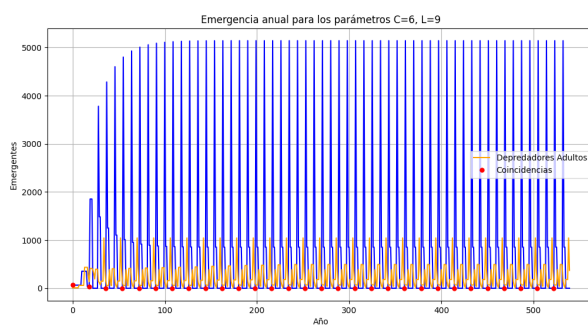


Figura 8: $C = 7, L = 5$

Aún así, no encontré que los ciclos primos destacaran de algún modo. En la figura 9, se puede ver como a pesar de que los ciclos de depredadores y cigarras solo coinciden cada 42 años en la primera y 18 en la segunda, es la segunda la que tiene una población de cigarras más alta.



(a) $L = 7$, coincidencias cada 42 años



(b) $L = 9$, coincidencias cada 18 años

Figura 9: $C = 6$

Consideraciones finales

En los intentos que realicé para la modelación del problema, no vi surgir de manera explícita algún patrón relacionado con los ciclos primos. La cantidad de variables que involucra el modelo hacen complicado descubrir si cambiar alguna de ellas haría que los ciclos primos resaltaran.

Referencias

- Hoppensteadt, F. C., & Keller, J. B. (1976). Synchronization of Periodical Cicada Emergences. *Science*, *194*(4262), 335-337. <https://doi.org/10.1126/science.987617>
- Koenig, W. D., & Liebhold, A. M. (2005). EFFECTS OF PERIODICAL CICADA EMERGENCES ON ABUNDANCE AND SYNCHRONY OF AVIAN POPULATIONS. *Ecology*, *86*(7), 1873-1882. <https://doi.org/10.1890/04-1175>