

Chaotic effects in microbial population dynamics

Adrián Gutiérrez Arroyo, Aniello Lampo y José Antonio Cuesta, UC3M

March 16, 2025

Abstract

El estudio de los ecosistemas microbianos está atravesando una época de esplendor gracias al impacto de las modernas técnicas metagenómicas, las cuales están generando una gran cantidad de datos. En este contexto, el debate sobre qué tipo de modelos pueden reproducir esta nueva riqueza empírica se ha vuelto especialmente relevante. En particular, el estado del arte del modelado matemático de estos sistemas gira en torno a ecuaciones estocásticas.

Nuestro trabajo propone adoptar un enfoque distinto: desarrollar una clase de modelos deterministas capaces de reproducir las recientes evidencias empíricas detectadas en los ecosistemas microbianos. Esta aproximación parte de una revalorización de la riqueza contenida en la dinámica determinista, la cual, lejos de reducirse a situaciones inmutables y fácilmente predecibles, puede abarcar fenómenos fuera del equilibrio y, sobre todo, efectos caóticos.

El estudio del caos, pese a ser un tema clásico en la ecología, está despertando un creciente interés entre científicos y científicas de diversas disciplinas. En línea con esta tendencia, con lo que con nuestro trabajo hemos tratado de:

1. Evaluar la existencia de efectos caóticos en la dinámica microbiana a partir de datos empíricos.
2. Proponer modelos deterministas que reproduzcan los patrones experimentales.
3. Analizar las implicaciones biológicas y su impacto en la salud.

Resultados

1. Detección de emergencia de efectos caóticos en datos empíricos.
 2. Reconocimiento de las interacciones entre especies como un ingrediente fundamental en la dinámica poblacional de los microbios, esenciales para reproducir los patrones observados empíricamente.
 3. Identificación de transiciones de fase en ecosistemas de microbios entre regímenes estables y caóticos.
- Dinámica de metacomunidades (Lotka-Volterra):

$$\dot{x}_{i,u} = x_{i,u} \left(1 - \sum_{j=1}^S A_{ij,\mu} x_{j,u} \right) + \sum_v^M D_{i,uv} (x_{i,v} - x_{i,u})$$