



GENERACIÓN DE UN AUTÓMATA CELULAR PARA LA SIMULACIÓN DEL ENSAMBLAJE DE COMUNIDADES BACTERIANAS TERMO-RESISTENTES DE CUATRO CIÉNEGAS COAHUILA.

Román Ulises Zapién Campos (IPN-UPIIG)

Dra. Gabriela Olmedo Álvarez (Cinvestav - Irapuato)

28 de Agosto 2013

Dr. Moisés Santillán Zerón (Cinvestav - Monterrey)

Primer Encuentro Interpolitécnico en Sistemas Complejos 2013

INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

Ecología de una comunidad

Factores bióticos

Factores abióticos

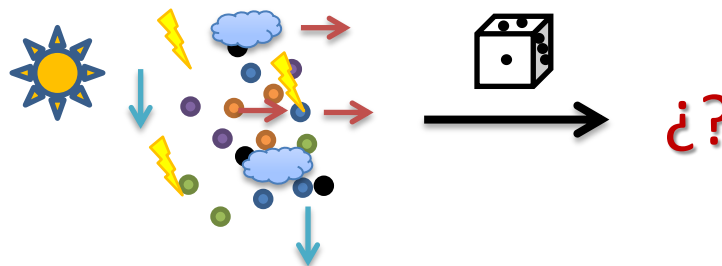
Teoría de ensamblado de comunidades

Dispersión

Diversificación local

Selección ambiental

Recambio ecológico o estocasticidad demográfica

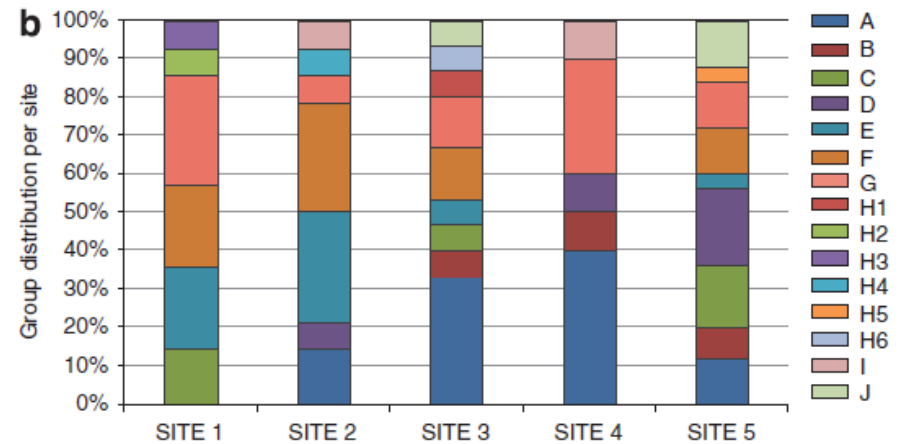
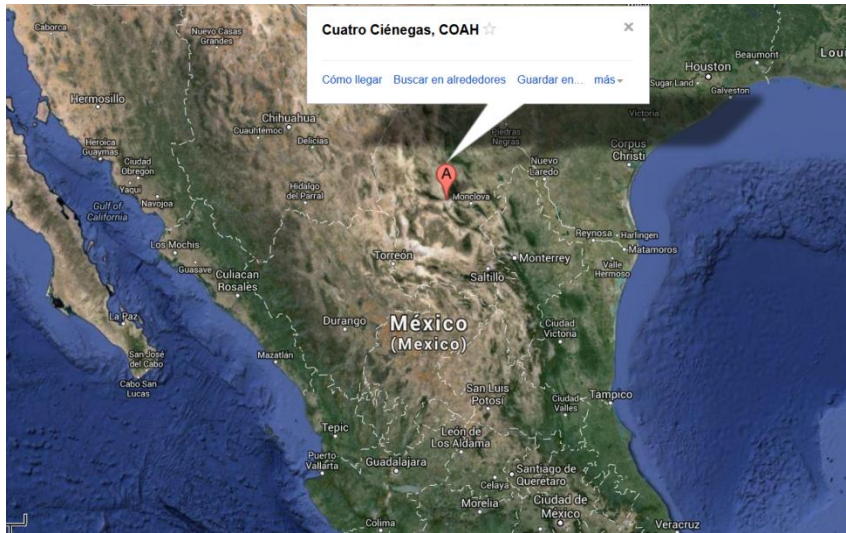


Costello, et al. (2012)

Objetivo

- Desarrollo de un autómatas celular para el estudio de los resultados experimentales reportados en Pérez-Gutiérrez, *et al* (2013).
- De estos resultados se destaca:
 1. La **variabilidad** del contenido de cepas en los sitios muestreados.
 2. La **supervivencia de cepas** que son poco antagonistas, pero altamente antagonizadas.
 3. La significativa **diferencia entre el antagonismo** de cepas *entre y dentro* de los sitios muestreados.

Origen de las muestras



Pérez-Gutierrez, et al. (2013)

MODELADO

Información disponible

- Anotación de una muestra de **72 aislados** de Churince (S).

$$S_i = (s_0, s_1, \dots, s_N)$$

$$N = 72 \text{ especies}$$

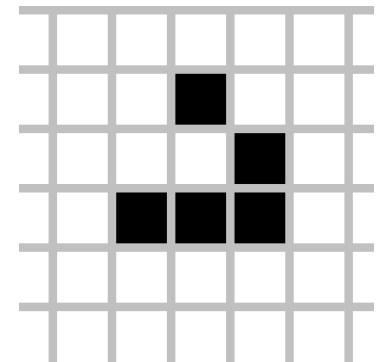
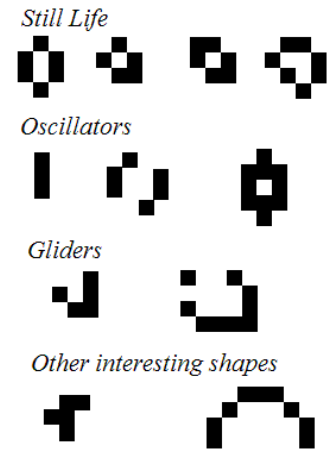
- Matriz de interacciones antagonistas (I).

$$I_{ij} = \begin{pmatrix} I_{00} & \cdot & \cdot & \cdot & I_{0N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ I_{N0} & \cdot & \cdot & \cdot & I_{NN} \end{pmatrix}$$

$$N^2 = 5,184 \text{ interacciones}$$

Selección del modelo

- Autómata celular ... un modelo *ad hoc* al problema.
 - Modelo discreto espacial y temporalmente.
 - Consideraciones:
 1. El espacio en cada celda es el mínimo para que una **única 'célula'** lo ocupe.
 2. El lapso de tiempo entre una iteración y la próxima es el mínimo para que ocurra un **único evento**.
- Está definido por un conjunto básico de reglas locales.
 - **Emergen** fenómenos impredecibles con las reglas básicas.
 - Se adecua muy bien a fenómenos biológicos.



El algoritmo.

1. Definir las dimensiones del sistema ($N, L \times L, It$).
2. Generar una matriz de distribución aleatoria de las N cepas con un tamaño $L \times L$.
3. Simular en cada paso el efecto de la celda i, j , sobre sus vecinas $i+k$ e $i-k$. Definido por las 'reglas de evolución del sistema'.

$$i \in \{0, 1, \dots, L\}, j \in \{0, 1, \dots, L\}, k \in \{-1, 1\}.$$

4. Iterar.



El algoritmo.

- 'Reglas de evolución del sistema':

1. Antagonismo:

- La celda *i-ésima* puede antagonizar a la *j-ésima*, y la elimina.

2. Invasión:

- La celda *i-ésima* invade la *j-ésima*, que antes estaba vacía.

3. Estaticidad:

- La celda *i-ésima* y *j-ésima* están vacías.
- La celda *i-ésima* no antagoniza a la *j-ésima*.

4. Antagonismo sin ataque:

- La celda *i-ésima* puede antagonizar a la *j-ésima*, pero no lo hace.

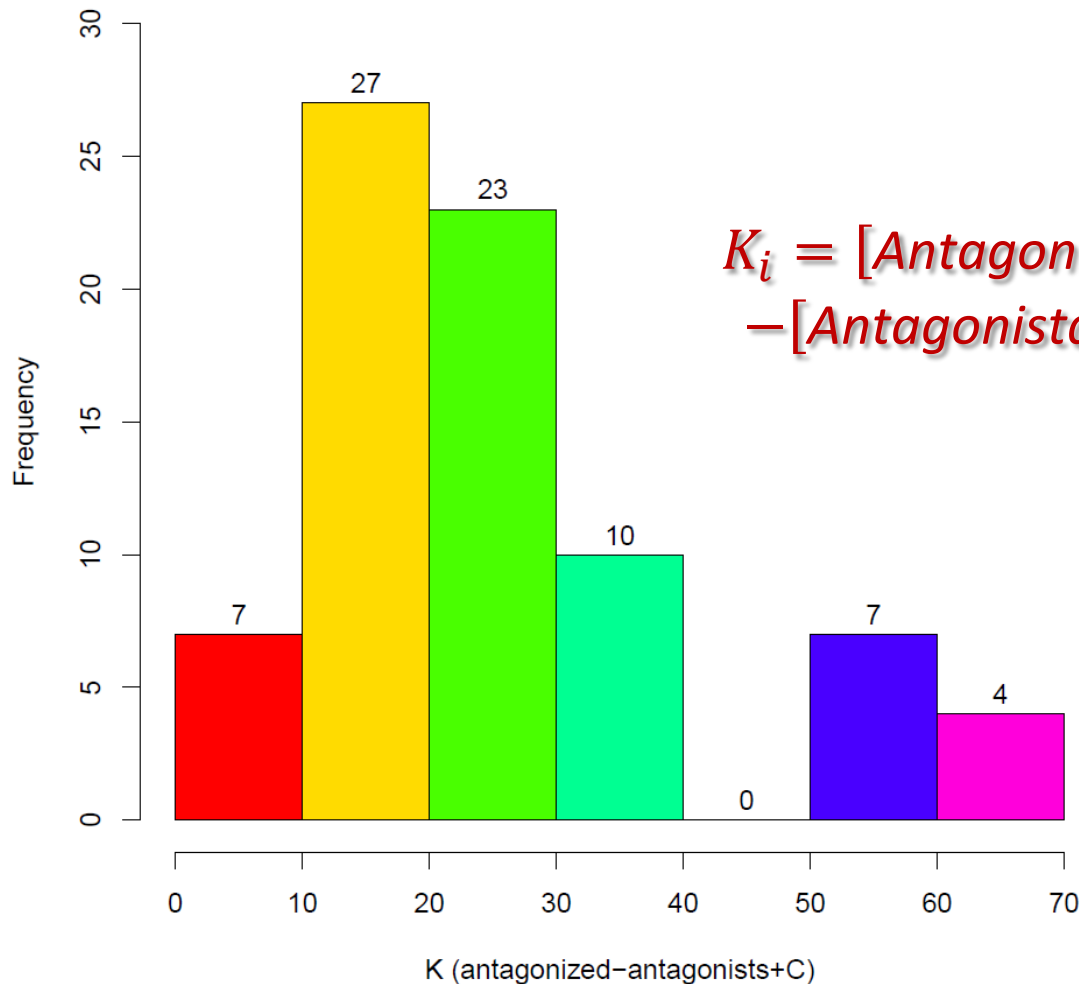
5. Muerte:

- La muerte de la celda *j-ésima* no es producto de ningún antagonismo.

RESULTADOS

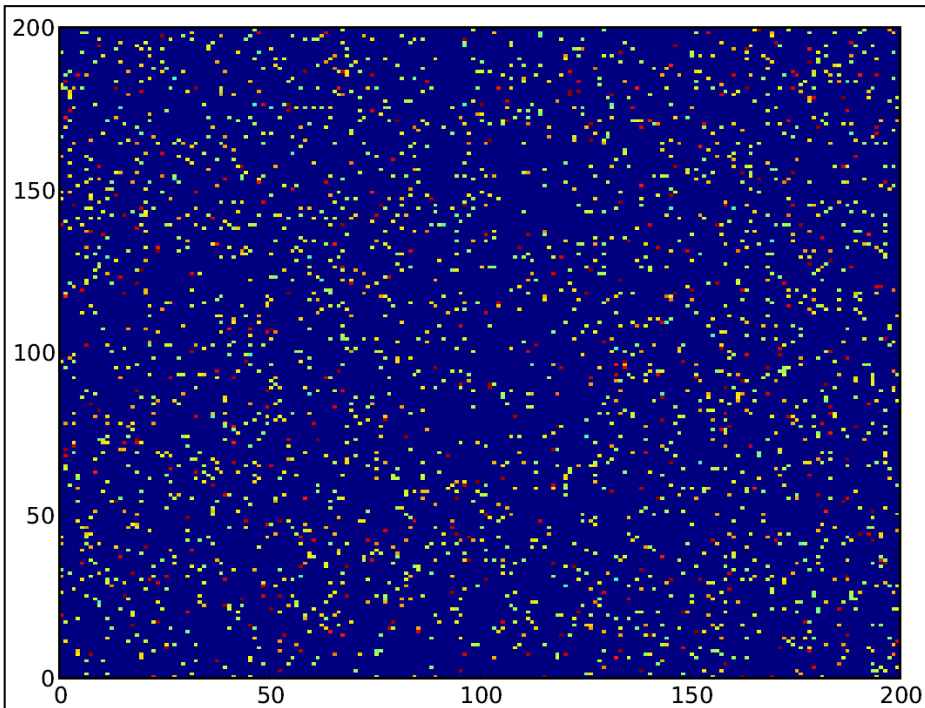
Índice de agresividad o antagonismo K

Experimental Data



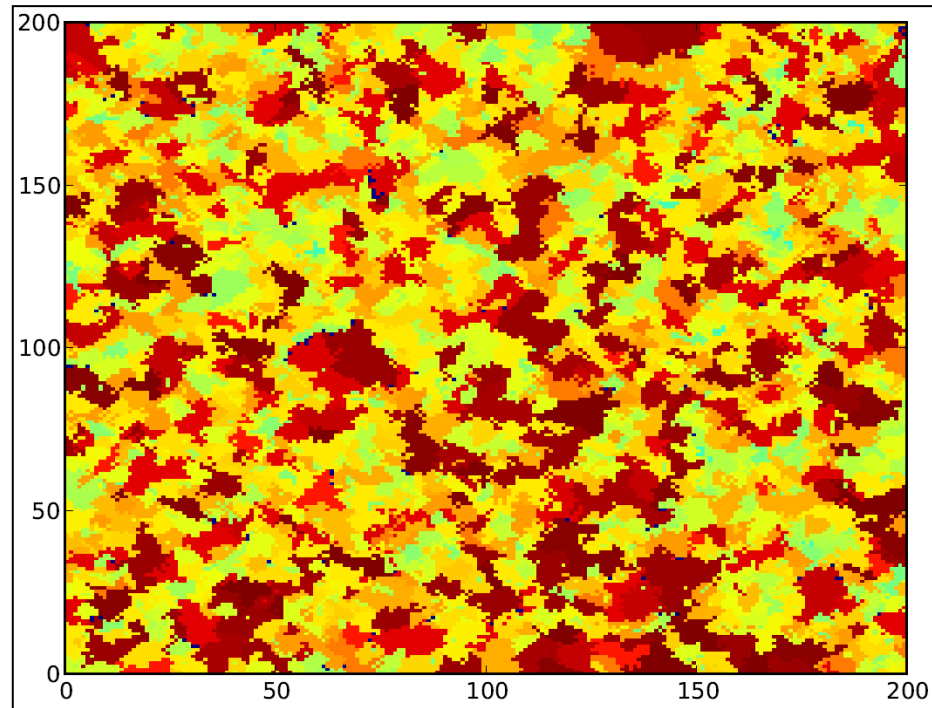
$$K_i = [\text{Antagonizadas por la } i\text{-ésima cepa}] - [\text{Antagonistas de la } i\text{-ésima cepa}] + C$$

La simulación más sencilla



Estado inicial

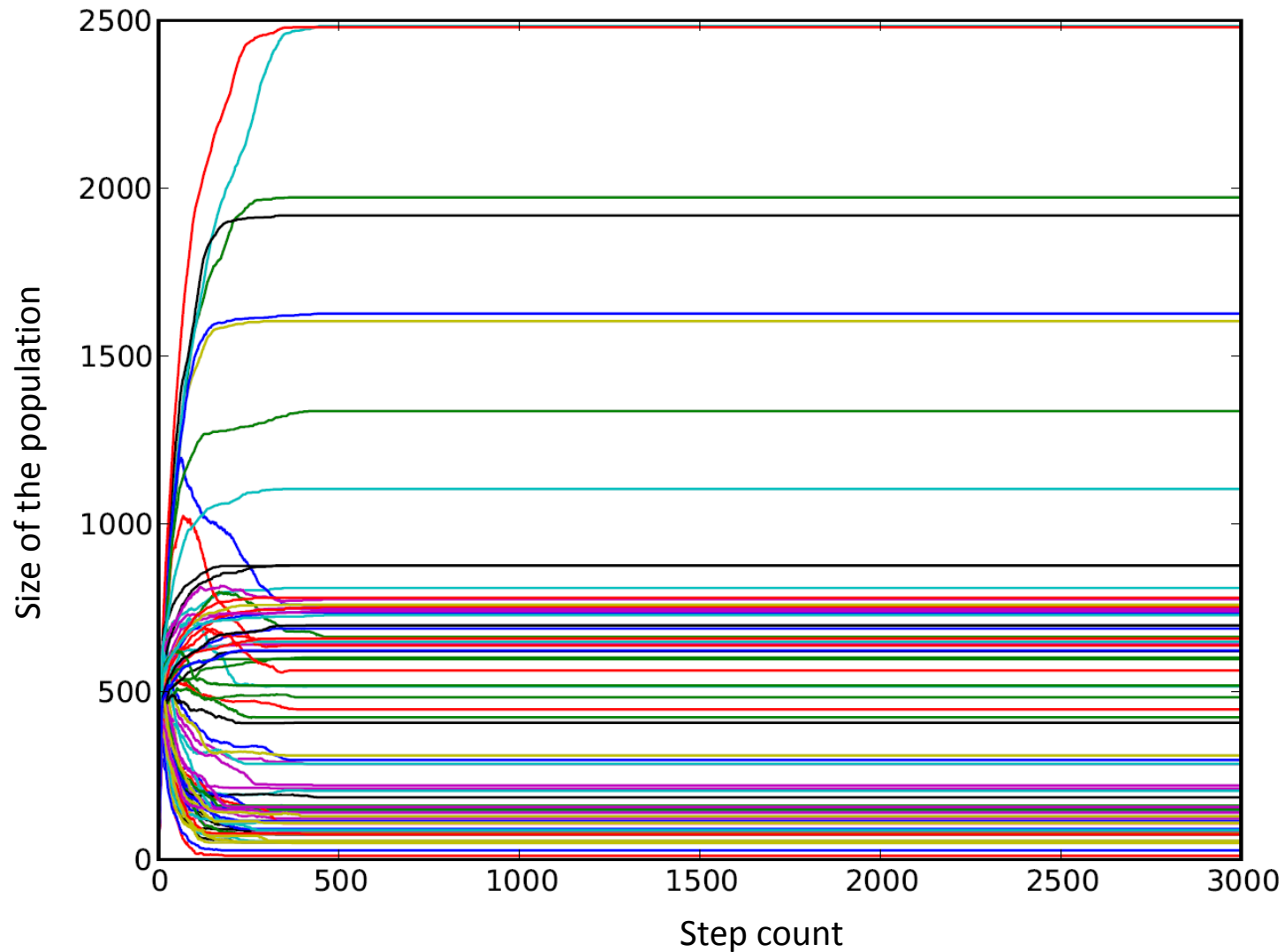
10% de las celdas están
inicialmente pobladas



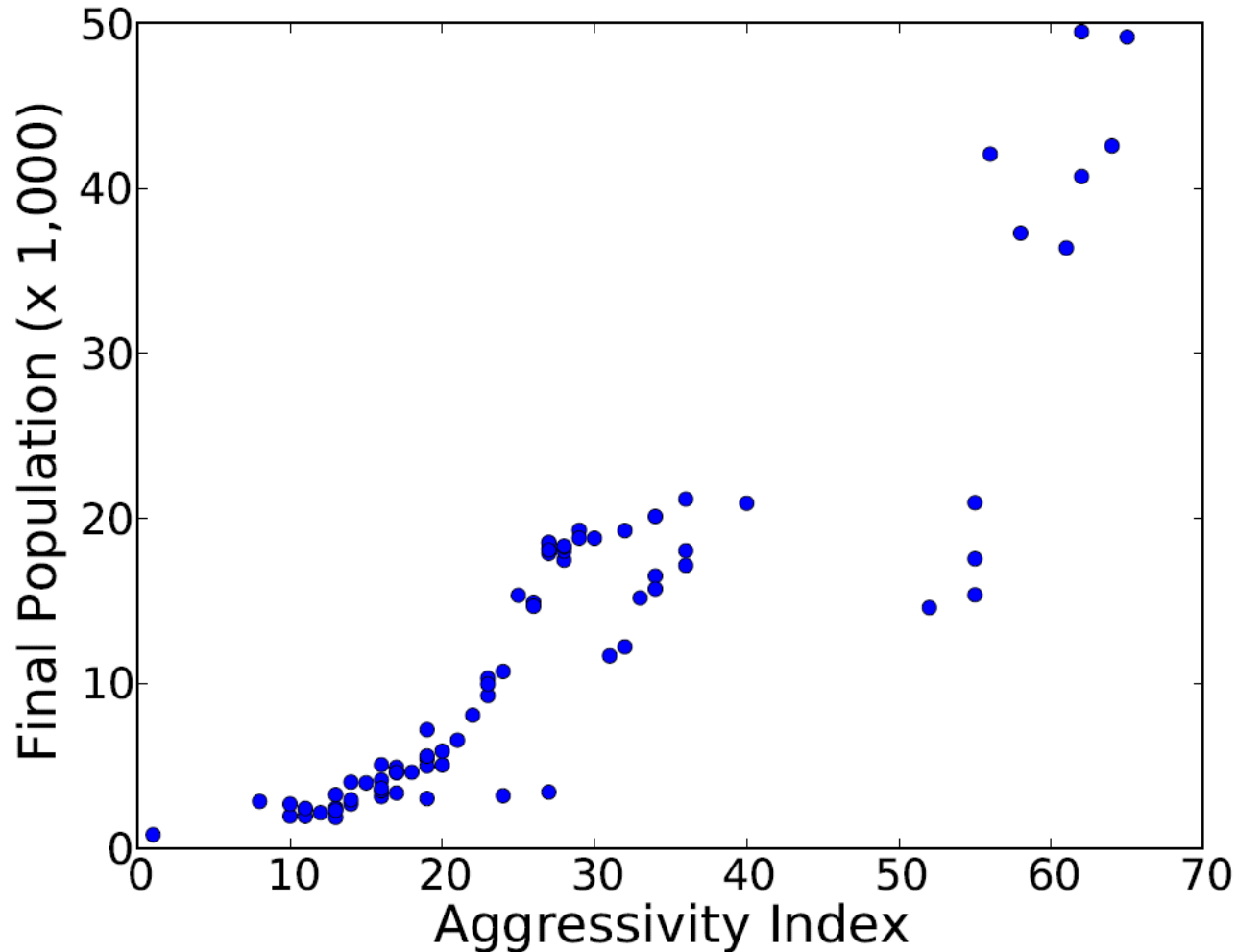
Estado final

$L \times L = 200 \times 200$
 $t_f = 100$

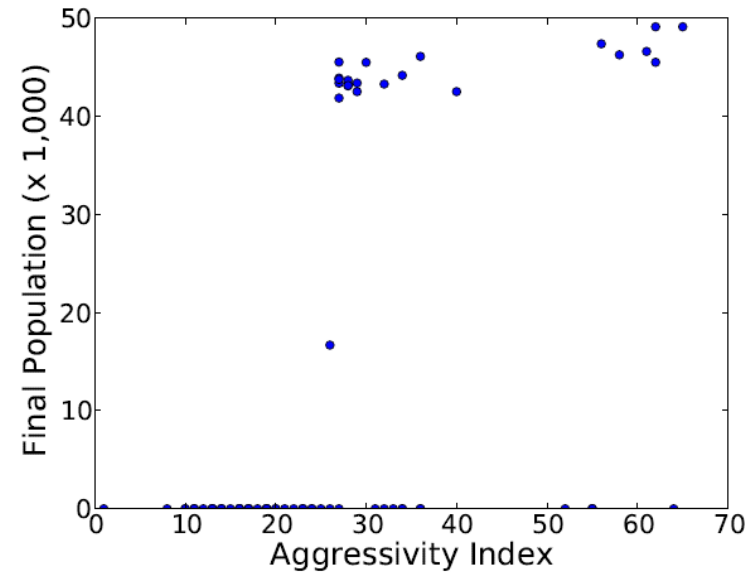
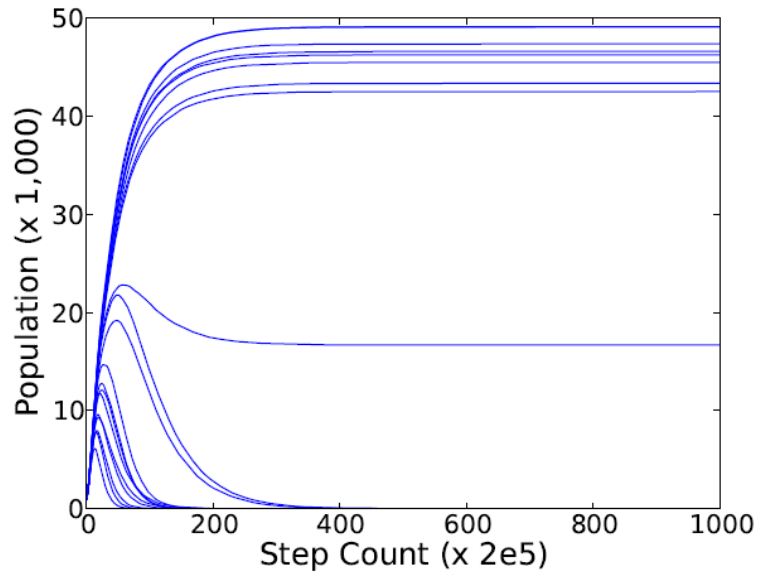
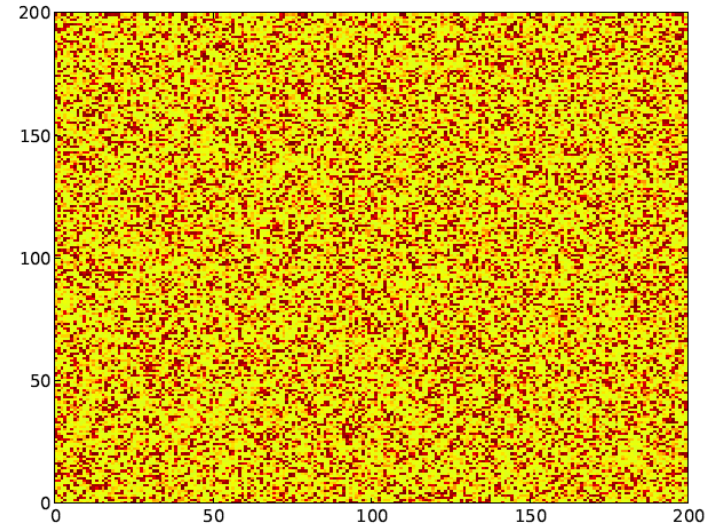
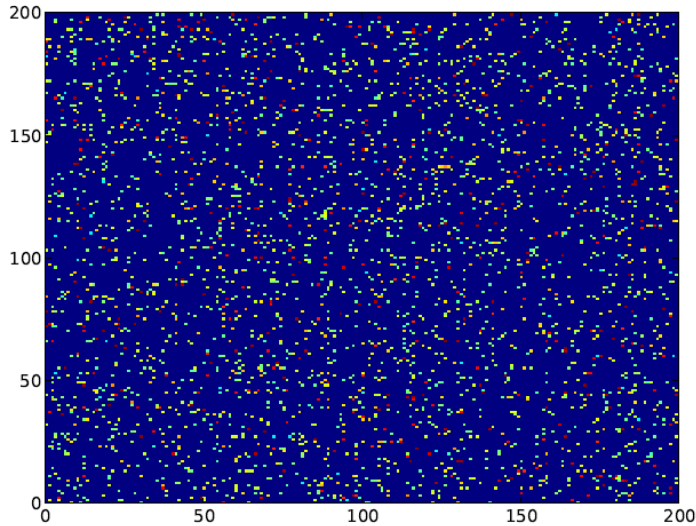
Curvas de crecimiento



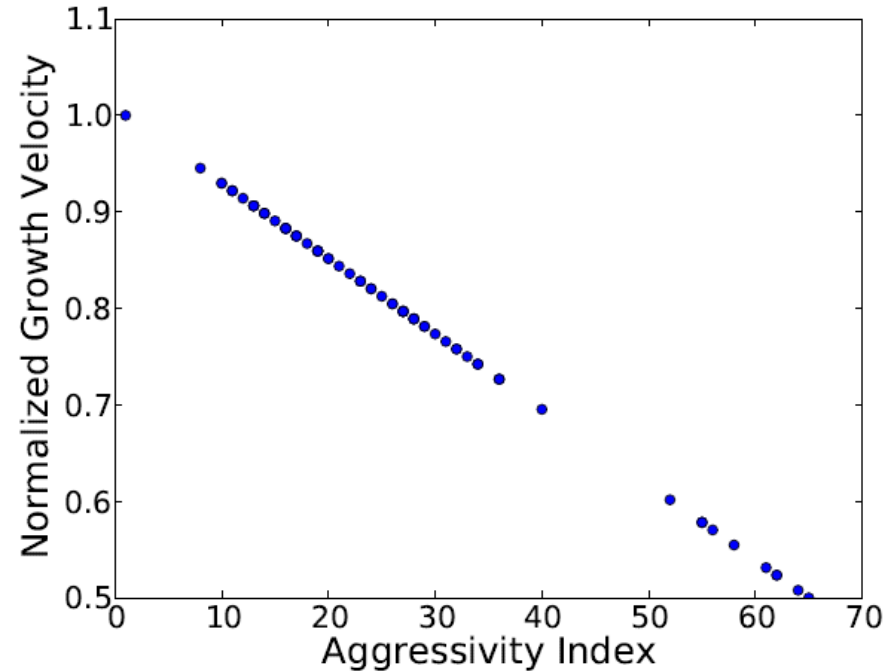
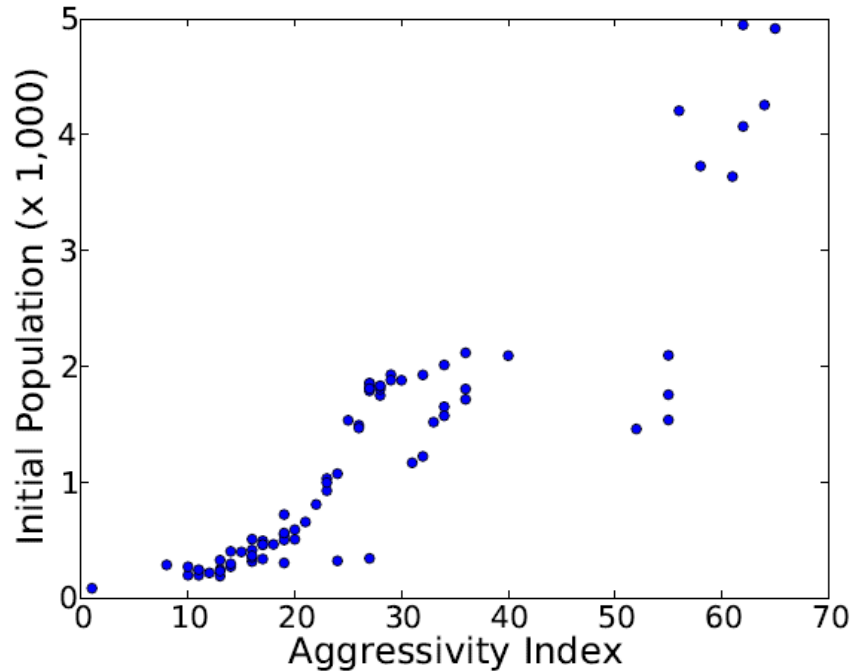
Correlación: Índice de agresividad - población final

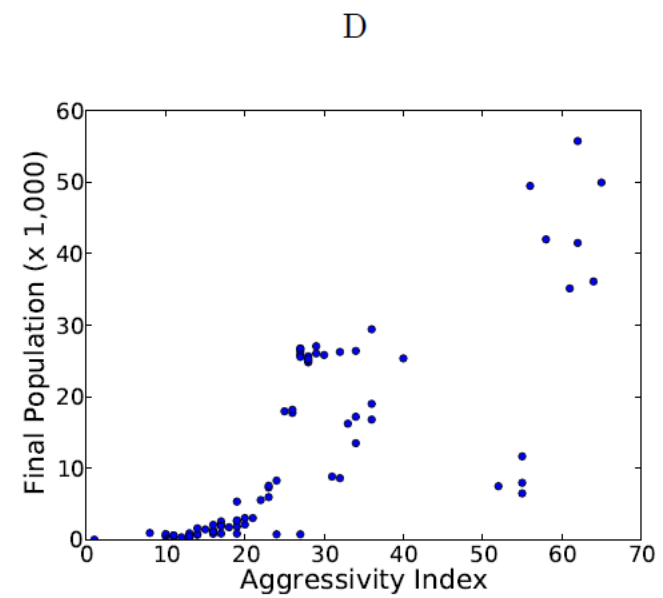
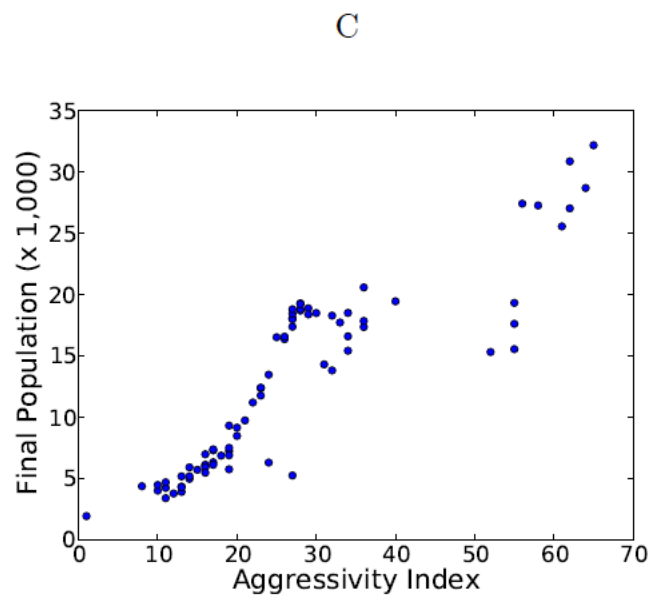
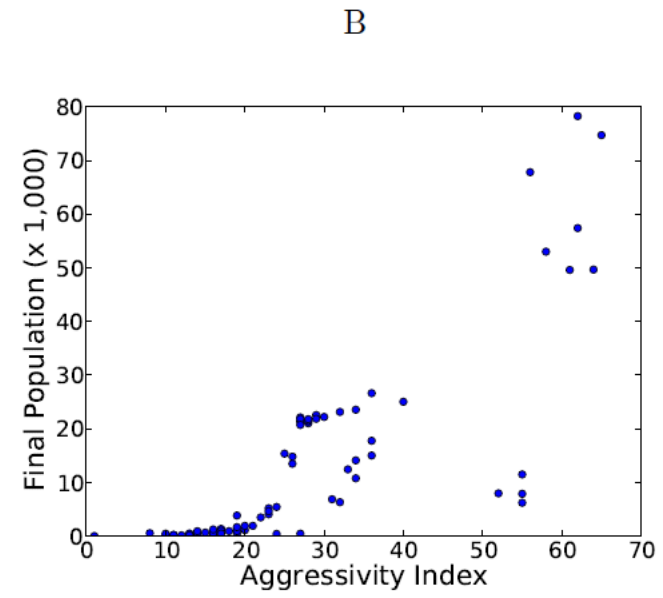
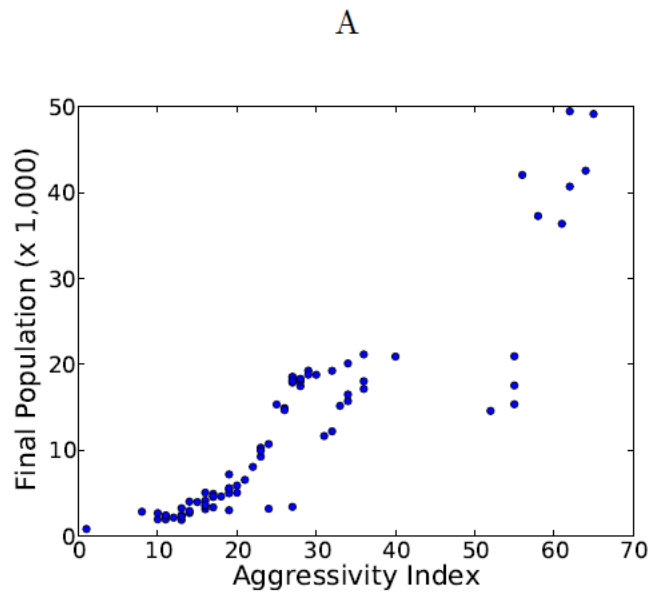


El efecto de las perturbaciones

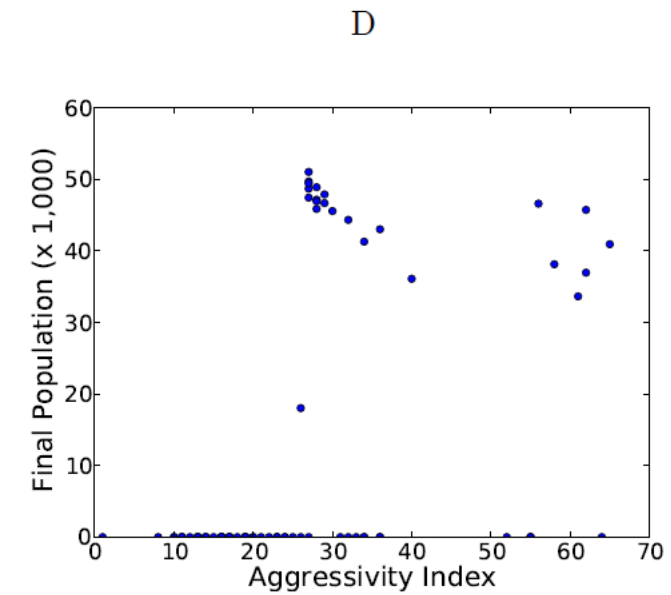
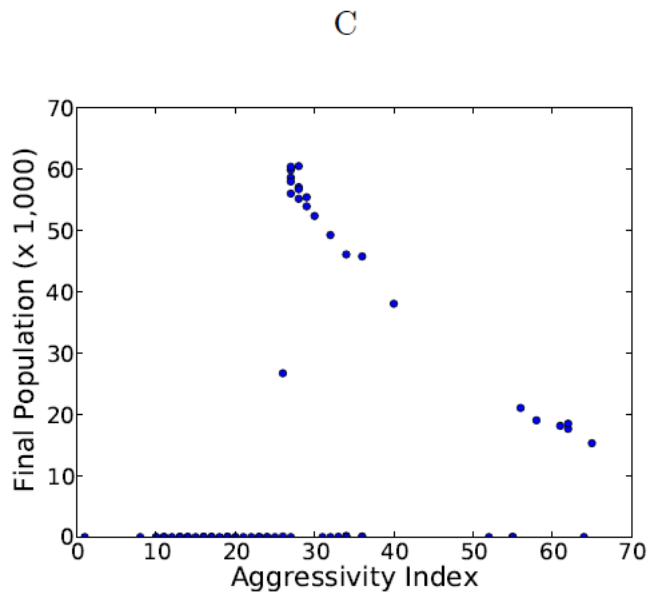
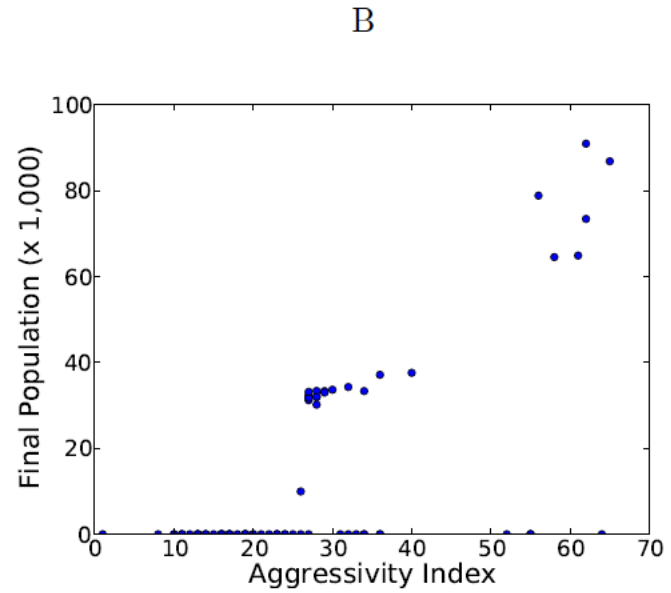
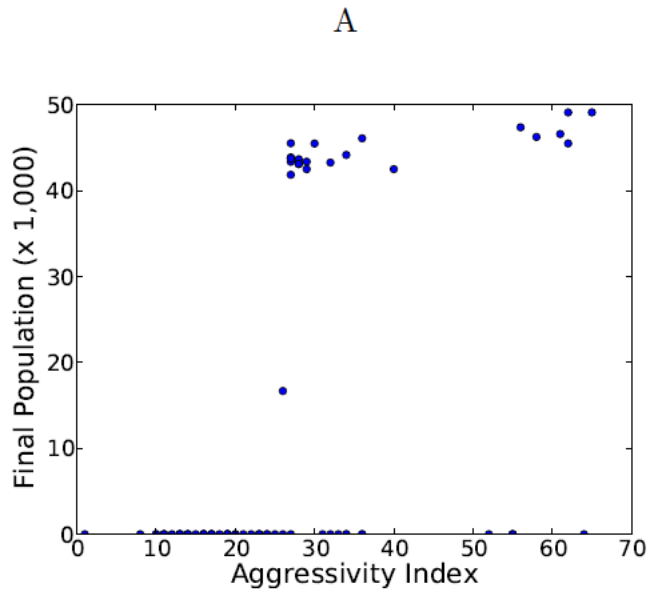


Población inicial y Velocidad de crecimiento

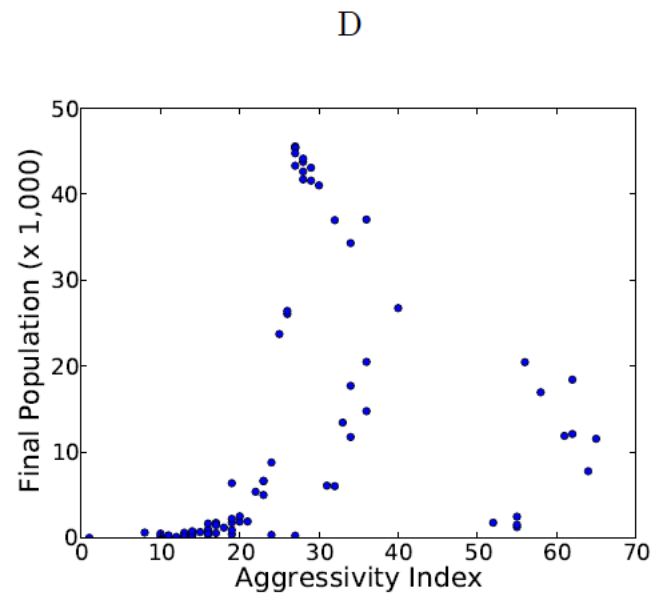
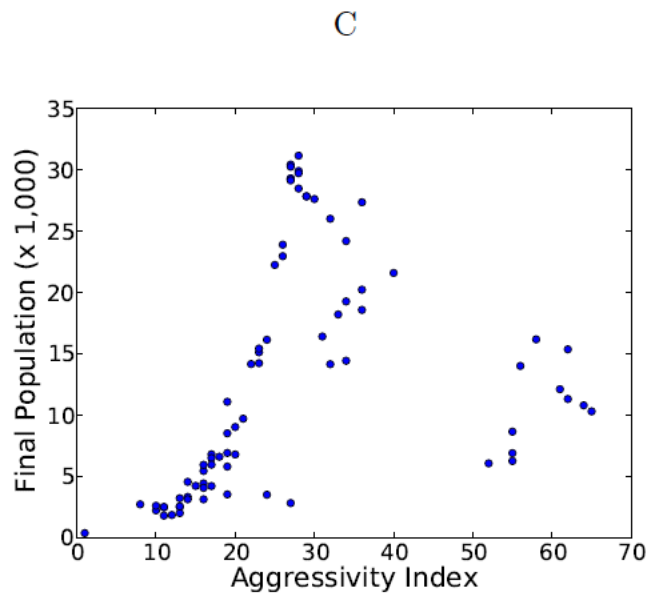
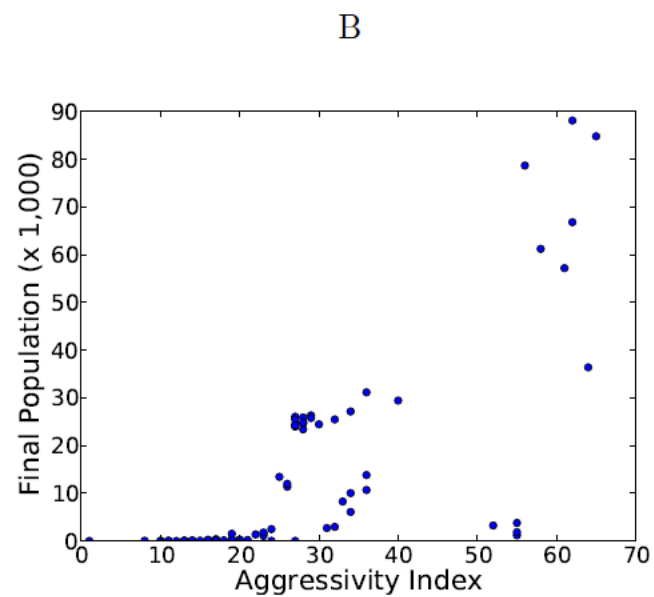
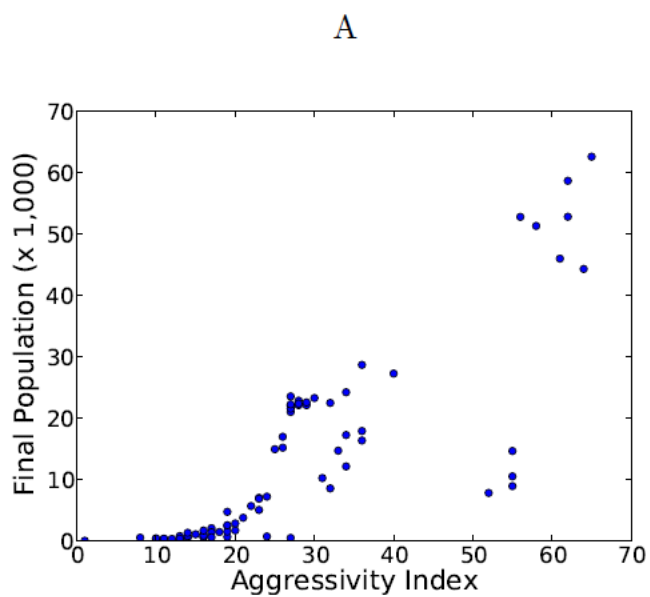




Población final vs. Índice K. **A)** Velocidad de crecimiento uniforme, población uniforme. **B)** Velocidad de crecimiento uniforme, población inicial variable. **C)** Velocidad de crecimiento variable, población inicial uniforme. **D)** Velocidad de crecimiento variable, población inicial variable.



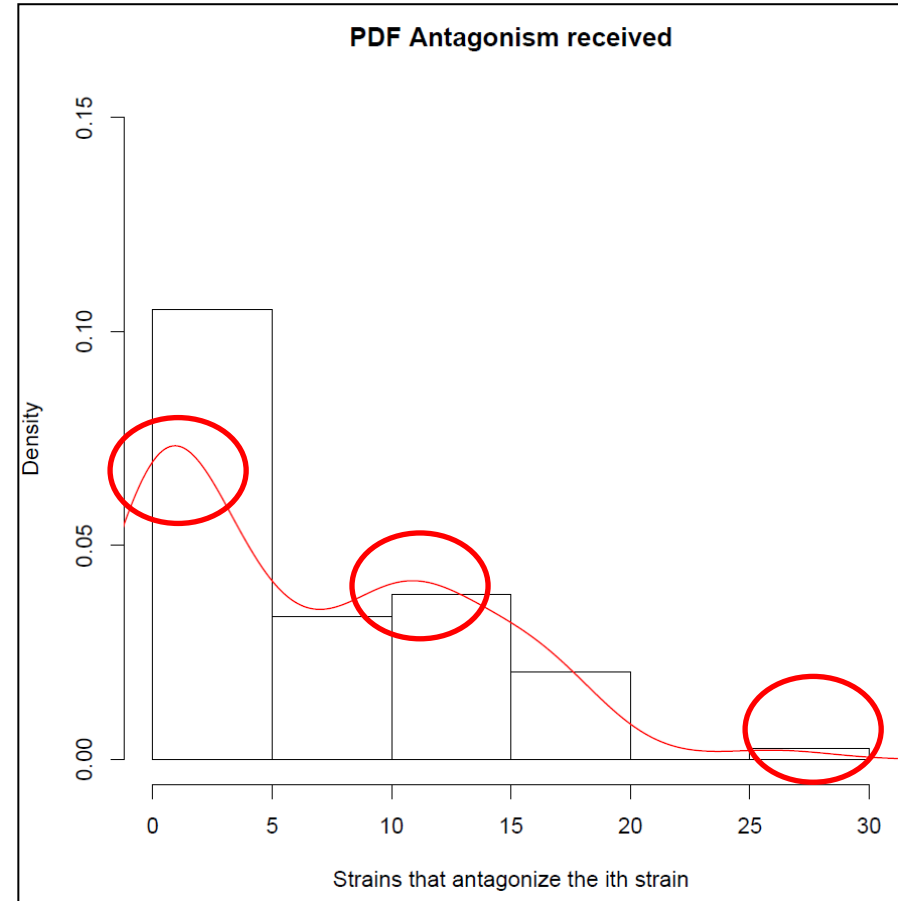
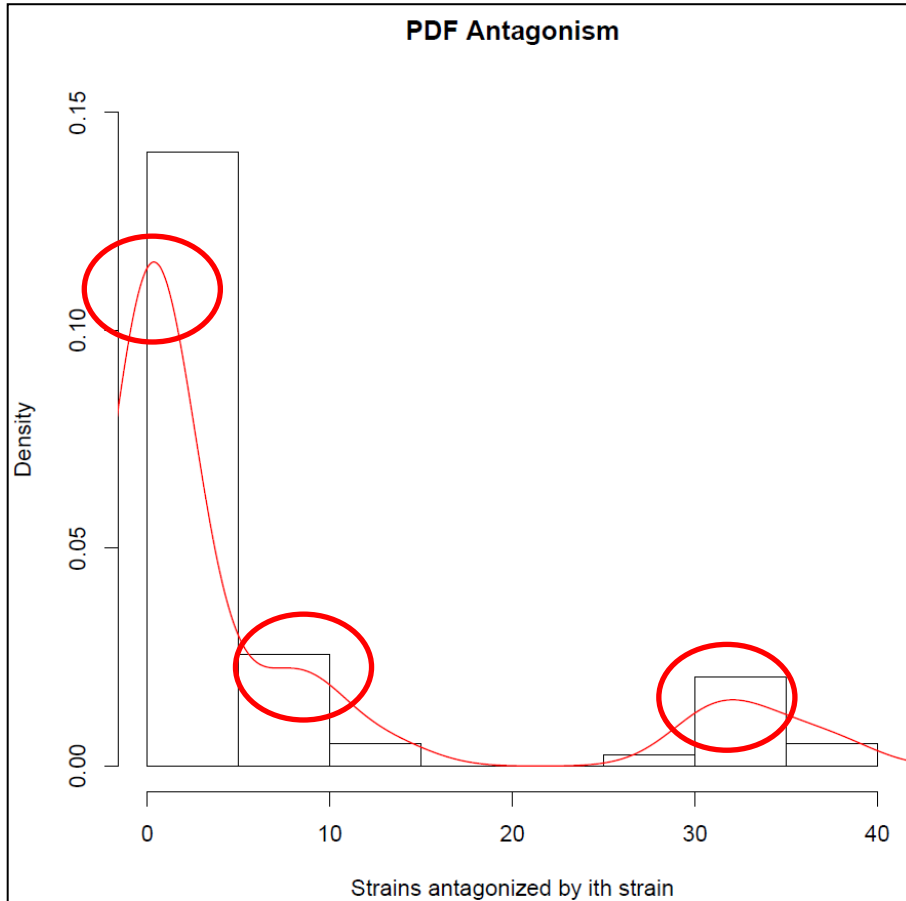
Población final vs. Índice K, con perturbación constante. **A)** Velocidad de crecimiento uniforme, población uniforme. **B)** Velocidad de crecimiento uniforme, población inicial variable. **C)** Velocidad de crecimiento variable, población inicial uniforme. **D)** Velocidad de crecimiento variable, población inicial variable.



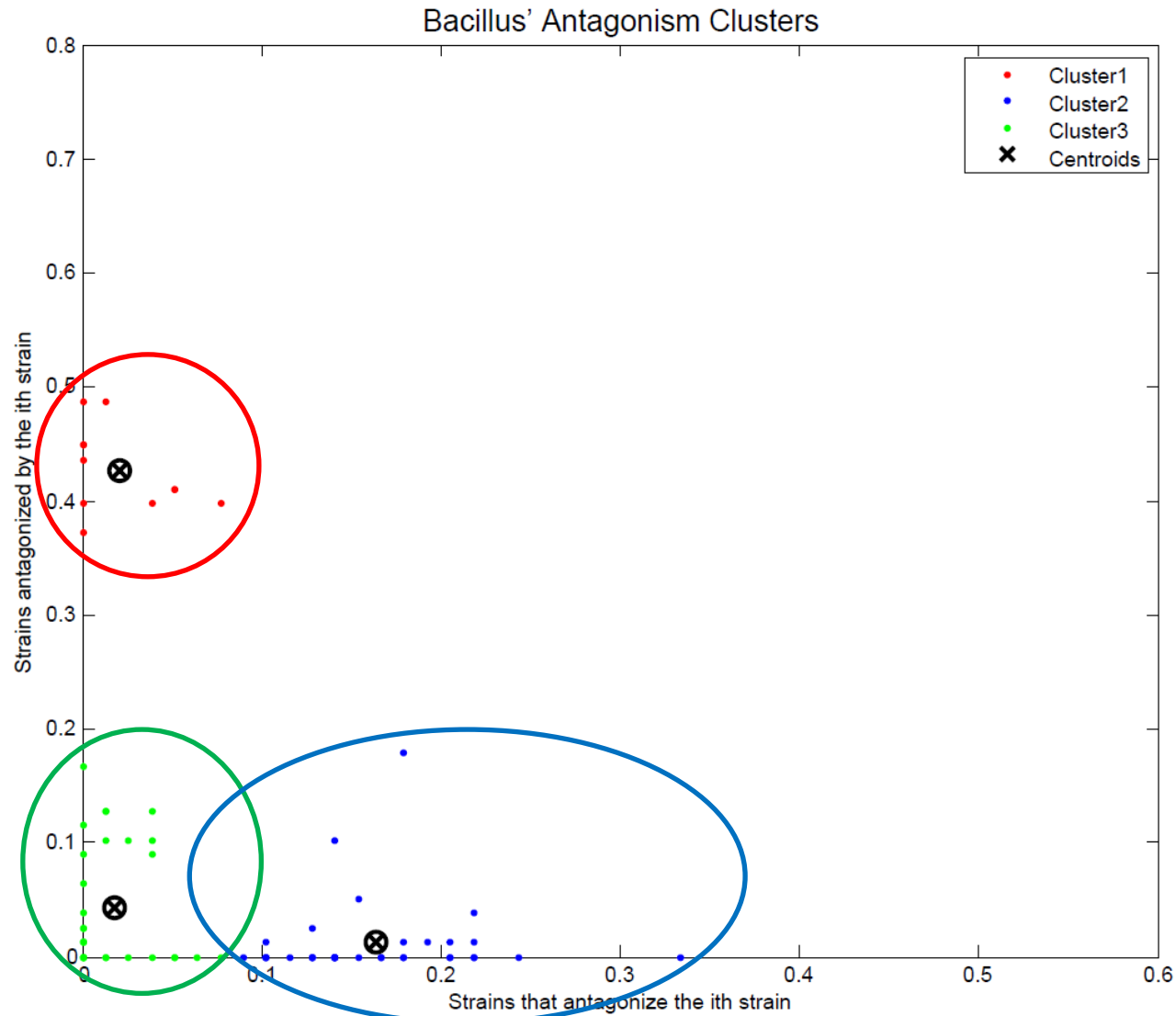
Población final vs. Índice K, incluyendo una tasa de muerte Y ($P=0.01$). **A)** Velocidad de crecimiento uniforme, población uniforme. **B)** Velocidad de crecimiento uniforme, población inicial variable. **C)** Velocidad de crecimiento variable, población inicial uniforme. **D)** Velocidad de crecimiento variable, población inicial variable.

EXTENSIÓN DEL PROYECTO

Antagonismo de los datos experimentales



'Clusterización' de las cepas



La información faltante

- Cuantificación de la tasa de crecimiento.

$$\mu_i = (\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_N)$$

- Cuantificación de la tasa de muerte.

$$\tau_i = (\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_N)$$

- Cuantificación de la motilidad celular.

$$m_i = (m_0, m_1, \dots, m_N)$$

Agradecimientos

- Dra. Gabriela Olmedo Álvarez
- Dr. Moisés Santillán Zerón.
- Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de la Investigación y Posgrado del Pacífico.
- Cinvestav Unidad Irapuato.

Referencias.

- **Costello, E.K., Stagaman, K., Dethlefsen, L., et. al.** (2012) *The application of ecological theory toward an understanding of the human microbiome.* Science. 336: 1255 – 1262.
- **R. A. Perez-Gutierrez, V. Lopez-Ramirez, A. Islas, L. D. Alcaraz, I. Hernandez-Gonzalez, B. C. A. Olivera, M. Santillan, L. E. Eguiarte, V. Souza, M. Travisano, et al.** (2013) *Antagonism influences assembly of a Bacillus guild in a local community and is depicted as a food-chain network.* The ISME Journal. 1-11