

# COMPUTACIÓN BIOLÓGICA

Pedro Isasi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Informática  
Universidad Carlos III de Madrid  
Avda. de la Universidad, 30. 28911 Leganés (Madrid). Spain  
email: isasi@ia.uc3m.es

Presentación

# TEMARIO

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 ALGORITMOS GENÉTICOS
- 3 COMPUTACIÓN EVOLUTIVA
- 4 COMPUTACIÓN CON INSPIRACIÓN BIOLÓGICA
- 5 **BIOLOGÍA Y COMPUTACIÓN**
  - **Efecto Baldwin**
  - Estrategias Evolutivamente Estables
  - Vida Artificial

# TEMARIO

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 ALGORITMOS GENÉTICOS
- 3 COMPUTACIÓN EVOLUTIVA
- 4 COMPUTACIÓN CON INSPIRACIÓN BIOLÓGICA
- 5 **BIOLOGÍA Y COMPUTACIÓN**
  - Efecto Baldwin
  - **Estrategias Evolutivamente Estables**
  - Vida Artificial

## EL DILEMA DEL PRISIONERO

Estudiado por primera vez por Flood y Dreshler en 1950:

### PLANTEAMIENTO

Dos personas han sido capturadas por la policía y son sospechosas de haber cometido un crimen. La policía, sin embargo, no tiene pruebas para condenarlas y decide someterlas de forma independiente a un interrogatorio. A cada uno de los inculpados se le ofrece una recompensa por cooperar con la policía, la situación que se le plantea a cada acusado es la siguiente:

## EL DILEMA DEL PRISIONERO

- El interrogado acusa a su compañero. Dos situaciones:
  - El compinche no le delata a él.- En este caso el acusado saldrá en libertad por colaborar
  - El compinche también le delata.- Ambos son acusados, pero se les reduce condena por colaborar
- El interrogado no delata a su compañero:
  - El compinche le delate.- El interrogado va a la cárcel el compinche sale libre
  - El compinche no le delate.- No hay pruebas, sufren una condena mínima por casos pendientes

# REGLAS DEL JUEGO

## TABLA DEL JUEGO

	Coopera	Delata
Coopera	Premio/Premio	Engañado/Engaño
Delata	Engaño/Engañado	Castigo/Castigo

- Cuatro posibilidades:
  - Premio (P) por haber colaborado con la policía y no ser delatado
  - Castigo (C) por no colaborar y ser delatado
  - Engañado (E) por no colaborar y ser delatado
  - Engaño (N) por colaborar y no ser delatado
- Se ha de cumplir que:
  - $N > P > C > E$
  - $2P > N + E$

## PUNTUACIONES

- Se juega entre dos y se decide sin saber lo que va a hacer el otro según:  $P = 3$ ,  $N = 5$ ,  $C = 1$  y  $E = 0$ :

### TABLA DEL JUEGO

	Coopera	Delata
Coopera	3/3	0/5
Delata	5/0	1/1

- Lo mejor es siempre delatar:
  - Si delatas en el mejor caso 5 puntos en el peor 1
  - Si cooperas en el mejor caso 3 puntos en el peor 0
- ¿Qué ocurre si se hace de forma iterada, sabiendo lo que han hecho anteriormente?

## PUNTUACIONES

- Se juega entre dos y se decide sin saber lo que va a hacer el otro según:  $P = 3$ ,  $N = 5$ ,  $C = 1$  y  $E = 0$ :

TABLA DEL JUEGO

	Coopera	Delata
Coopera	3/3	0/5
Delata	5/0	1/1

- Lo mejor es siempre delatar:
  - Si delatas en el mejor caso 5 puntos en el peor 1
  - Si cooperas en el mejor caso 3 puntos en el peor 0
- ¿Qué ocurre si se hace de forma iterada, sabiendo lo que han hecho anteriormente?

## PUNTUACIONES

- Se juega entre dos y se decide sin saber lo que va a hacer el otro según:  $P = 3$ ,  $N = 5$ ,  $C = 1$  y  $E = 0$ :

TABLA DEL JUEGO

	Coopera	Delata
Coopera	3/3	0/5
Delata	5/0	1/1

- Lo mejor es siempre delatar:
  - Si delatas en el mejor caso 5 puntos en el peor 1
  - Si cooperas en el mejor caso 3 puntos en el peor 0
- ¿Qué ocurre si se hace de forma iterada, sabiendo lo que han hecho anteriormente?

## DILEMA DEL PRISIONERO ITERADO

- Siendo la estrategia óptima delatar, ¿es posible la aparición de estrategias de cooperación?
- Si el rival conoce nuestro historial puede decidir no colaborar, en ese caso cada uno hace 1 punto por ronda
- Si hay otros que se ponen de acuerdo para colaborar, hacen 3 puntos en cada ronda
- El problema es cómo saber en quien confiar
- Axelrod preparó una competición en la que se recibían estrategias desde todo el mundo (programas)
- Los puso a competir y el ganador fue un psicólogo de la Universidad de Toronto, Anatol Rapoport, con la estrategia donde las dan las toman **DDT**

## DONDE LAS DAN LAS TOMAN

- Se empieza siempre colaborando
- Se examina la última acción del rival:
  - Si nos delató le delatamos
  - Si colaboró colaboramos
- Es altruista ya que tiende a colaborar, pero tiene en cuenta el comportamiento pasado
- Las altruistas puras colaboran siempre
- Las desconfiadas (canallas) delatan siempre

## DONDE LAS DAN LAS TOMAN

- Se empieza siempre colaborando
- Se examina la última acción del rival:
  - Si nos delató le delatamos
  - Si colaboró colaboramos
- Es altruista ya que tiende a colaborar, pero tiene en cuenta el comportamiento pasado
- Las altruistas puras colaboran siempre
- Las desconfiadas (canallas) delatan siempre

## DONDE LAS DAN LAS TOMAN

- Se empieza siempre colaborando
- Se examina la última acción del rival:
  - Si nos delató le delatamos
  - Si colaboró colaboramos
- Es altruista ya que tiende a colaborar, pero tiene en cuenta el comportamiento pasado
- Las altruistas puras colaboran siempre
- Las desconfiadas (canallas) delatan siempre

## DONDE LAS DAN LAS TOMAN

- Se empieza siempre colaborando
- Se examina la última acción del rival:
  - Si nos delató le delatamos
  - Si colaboró colaboramos
- Es altruista ya que tiende a colaborar, pero tiene en cuenta el comportamiento pasado
- Las altruistas puras colaboran siempre
- Las desconfiadas (canallas) delatan siempre

## DONDE LAS DAN LAS TOMAN

- Se empieza siempre colaborando
- Se examina la última acción del rival:
  - Si nos delató le delatamos
  - Si colaboró colaboramos
- Es altruista ya que tiende a colaborar, pero tiene en cuenta el comportamiento pasado
- Las altruistas puras colaboran siempre
- Las desconfiadas (canallas) delatan siempre

## DONDE LAS DAN LAS TOMAN

- Se empieza siempre colaborando
- Se examina la última acción del rival:
  - Si nos delató le delatamos
  - Si colaboró colaboramos
- Es altruista ya que tiende a colaborar, pero tiene en cuenta el comportamiento pasado
- Las altruistas puras colaboran siempre
- Las desconfiadas (canallas) delatan siempre

## DONDE LAS DAN LAS TOMAN

- Se empieza siempre colaborando
- Se examina la última acción del rival:
  - Si nos delató le delatamos
  - Si colaboró colaboramos
- Es altruista ya que tiende a colaborar, pero tiene en cuenta el comportamiento pasado
- Las altruistas puras colaboran siempre
- Las desconfiadas (canallas) delatan siempre

# EVOLUCIÓN DEL JUEGO CON TRES ESTRATEGIAS

15 altruistas, 3 canallas, 3 DDT:

Ronda	Altruista	Canalla	DDT
1	27	54	27
2	27	34	32
...	...	...	...
200	27	34	32

Sólo canallas y DDT:

Ronda	Canalla	DDT
1	29	12
2	9	17
...	...	...
200	9	17

## ESTRATEGIAS ALTRUISTAS

- Axelrod volvió a realizar el concurso, para ver si había mejores estrategias que la DDT, pero volvió a ganar
- Implicaciones biológicas y sociales:
  - Sistema *vive y deja vivir* de la primera guerra mundial
  - En los líquenes existen hongos que extraen nutrientes de las rocas que permiten sobrevivir a las algas, que en compensación proveen de fotosíntesis a los hongos
  - El árbol de la acacia facilita comida y hogar a ciertas hormigas, que a cambio protegen el árbol
- Este tipo de estrategias ¿podrían surgir en la naturaleza de forma espontánea a pesar de la tendencia de los genes para su supervivencia individual?
- Las estrategias no son buenas o malas, altruistas o egoistas; son **evolutivamente estables**

# EVOLUCIÓN DE ESTRATEGIAS MEDIANTE AG

- Lindergren y Nordahl desarrollaron un programa para corroborar la hipótesis anterior
  - ¿Se podrán producir comportamientos de cooperación espontáneamente en un entorno en el que las reglas del juego es obtener de forma individual el mayor número de puntos posibles?
  - ¿podrán emerger comportamientos cooperantes partiendo de estrategias aleatorias para el Dilema del Prisionero?
- Realizar experimentos en los que:
  - Se puedan producir nuevas estrategias combinando las ya existentes
  - Se siguen las reglas de la Selección Natural
  - Estrategias mejores sobrevivirán y tendrán más descendientes, y las peores desaparecerán sin descendientes
  - Se utilizan Algoritmos Genéticos

## CODIFICACIÓN GENÉTICA DEL JUEGO

- Se codifican las estrategias como cadenas de bits
- Cada estrategia tiene una memoria limitada por simplicidad, en este caso 2
- Las posibles entradas de la estrategia son pues:

Código	t-1	t-2
00	Delató	Delató
01	Colaboró	Delató
10	Delató	Colaboró
11	Colaboró	Colaboró

- Como hay 4 estados y dos acciones a realizar para cada uno (0 delatar, 1 cooperar), las posibilidades son  $2^4 = 16$ , para lo cual se necesitan 4 bits

## CODIFICACIÓN GENÉTICA DEL JUEGO

- Si el individuo es 0110, el primer bit se refiere al primer estado (me delató, me delató), el segundo bit al segundo etc...

t-1 (Oponente)	t-2 (Oponente)	t (Jugador)
0 (Delata)	0 (Delata)	0 (Delata)
0 (Delata)	1 (Coopera)	1 (Coopera)
1 (Coopera)	0 (Delata)	1 (Coopera)
1 (Coopera)	1 (Coopera)	0 (Delata)

- El significado es:
  - El oponente delató en t-1, y delató en t-2. Acción  $\Rightarrow$  Delatar
  - El oponente Cooperó en t-1, y delató en t-2. Acción  $\Rightarrow$  Cooperar
  - El oponente delató en t-1, y Cooperó en t-2. Acción  $\Rightarrow$  Cooperar
  - El oponente Cooperó en t-1, y Cooperó en t-2. Acción  $\Rightarrow$  Delatar
- Si se quiere generalizar para un tamaño de memoria arbitrario  $m$ , el tamaño del cromosoma sería  $TM = \text{Log}_2(2^{2^m}) = 2^m$ :

# ALGORITMO GENÉTICO

- 1 Generar la población de estrategias de forma aleatoria y de tamaño T.
- 2 Realizar una competición del DPI, con un número arbitrario de rondas R, donde en cada ronda hayan jugado cada estrategia con todas las demás estrategias. Calcular los puntos conseguidos en todas las rondas hasta obtener una puntuación final de la competición por cada estrategia.
- 3 Realizar una iteración del AG utilizando como fitness la puntuación obtenida en el punto anterior. De forma que mediante mutación y sobrecruzamiento se obtendrán nuevas estrategias. Siendo los individuos que hayan obtenido más puntuación los que tendrán más probabilidad de sobrevivir.
- 4 Poner a cero las puntuaciones de todos los individuos y regreasr al paso 2.

# EXPERIMENTOS

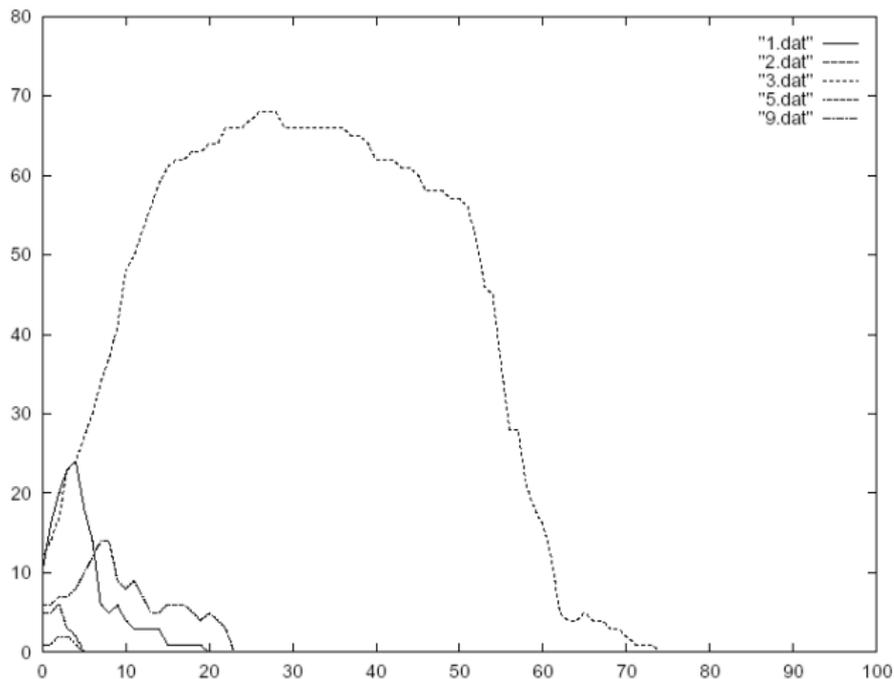
- Se numeran las estrategias según su codificación en binario: la 0 (0000) siempre delata, la 15 (1111) siempre coopera
- Se dividen las estrategias en tres bloques:
  - Ingenuas.- Tienen a cooperar
  - Canallas.- Tienen a delatar
  - Desconfiadas.- Cooperan si se coopera con ellas:

Bloque	Estrategias
Canallas	0 1 2 4 8
Desconfiados	3 5 6 9 10 12
Ingenuos	7 11 13 14 15

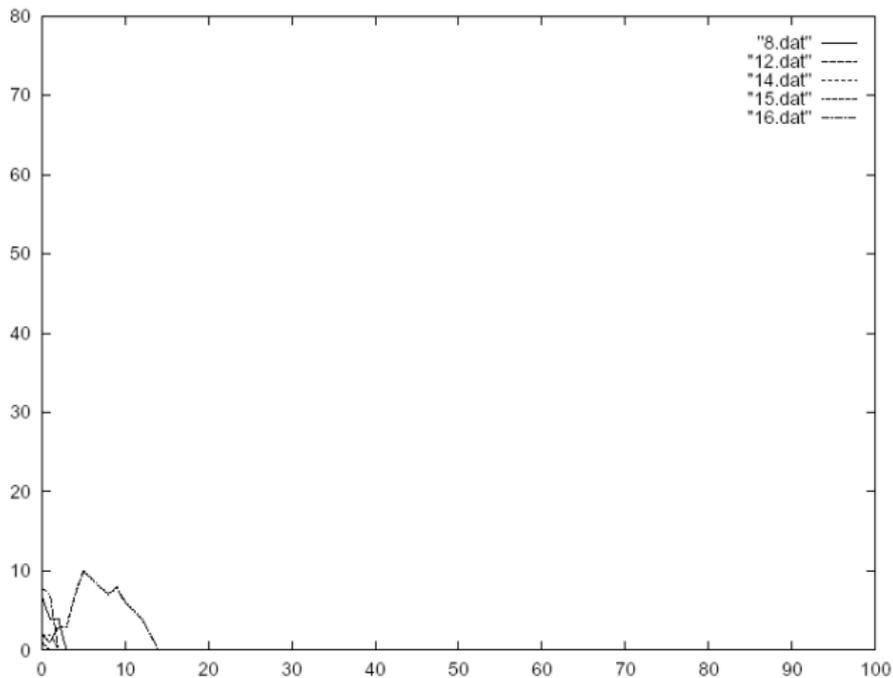
# EXPERIMENTO 1

- Se genera una población de individuos con todas las estrategias representadas por igual
- Se realiza una competición de  $n$  rondas entre todas las estrategias
- El fitness de cada individuo (estrategia) es la puntuación obtenida en la competición
- Se genera una nueva población donde cada individuo está representado según su fitness
- Se repite el proceso un número determinado de generaciones
- No se generan nuevas estrategias ya que están todas las posibles en la población inicial
- Se trata de comprobar como evolucionaría un ecosistema con estas estrategias

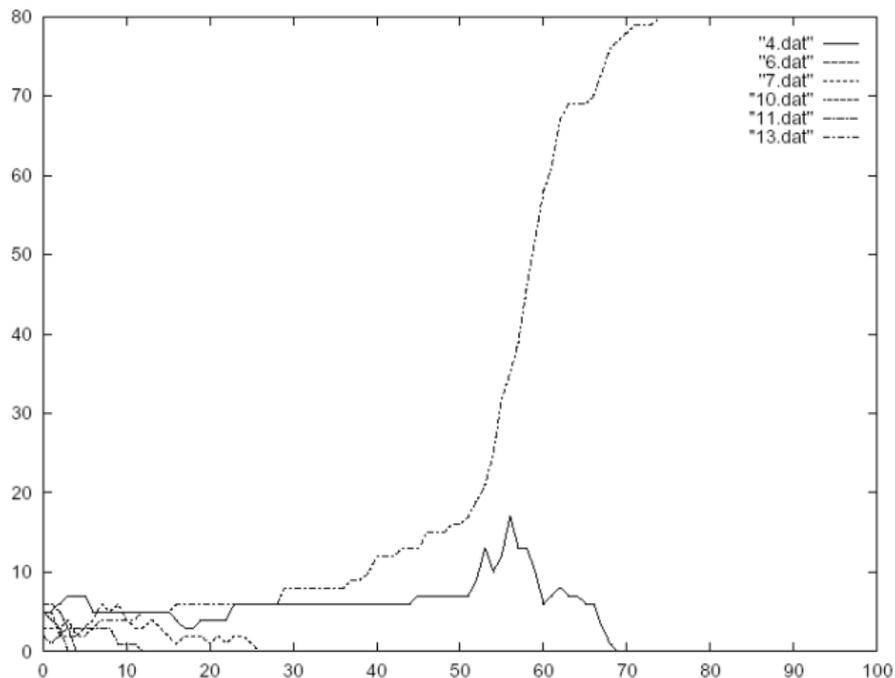
# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS CANALLAS



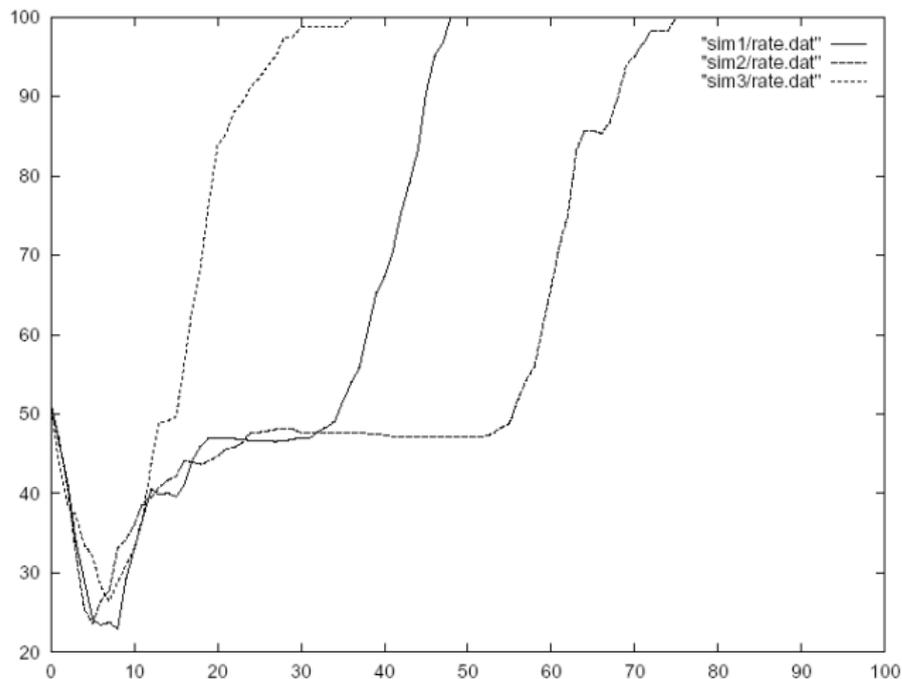
# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS INGENUAS



# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS DESCONFIADAS



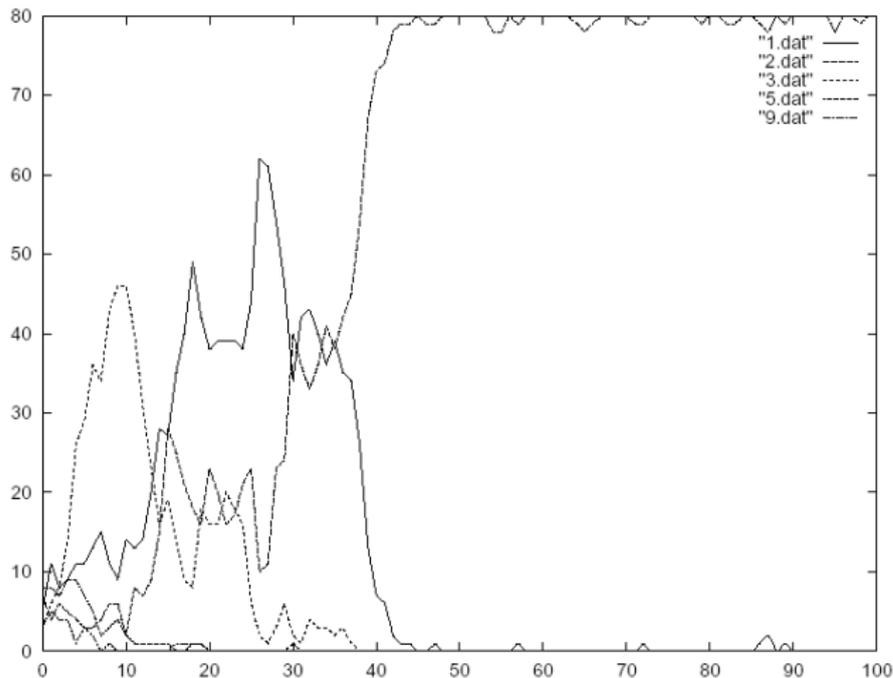
# TASA DE COOPERACIONES



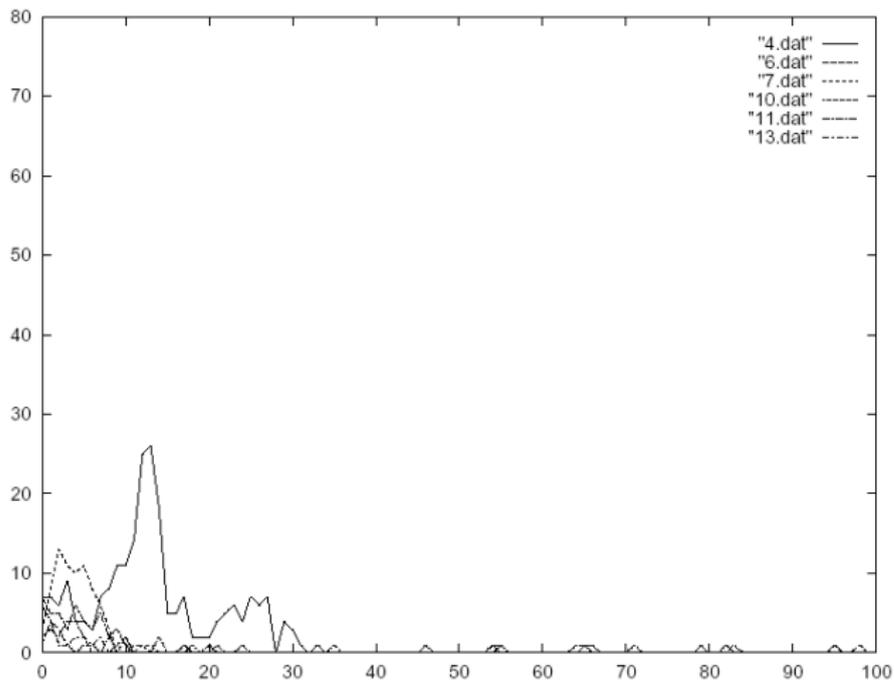
## EXPERIMENTO 2

- Se ha visto la evolución de las estrategias diseñadas, pero ¿qué tipo de estrategias podrías surgir espontáneamente?
- Se genera aleatoriamente una población de individuos con su cromosoma aumentado (con más memoria para permitir estrategias más sofisticadas)
- Se realiza una competición de  $n$  rondas entre todas las estrategias
- El fitness de cada individuo (estrategia) es la puntuación obtenida en la competición
- Se genera una nueva población mediante un AG con probabilidad de sobrecruzamiento de 1 y de mutación de 0,001
- Se generan nuevas estrategias que competirán con las contemporáneas por transmitir su material genético

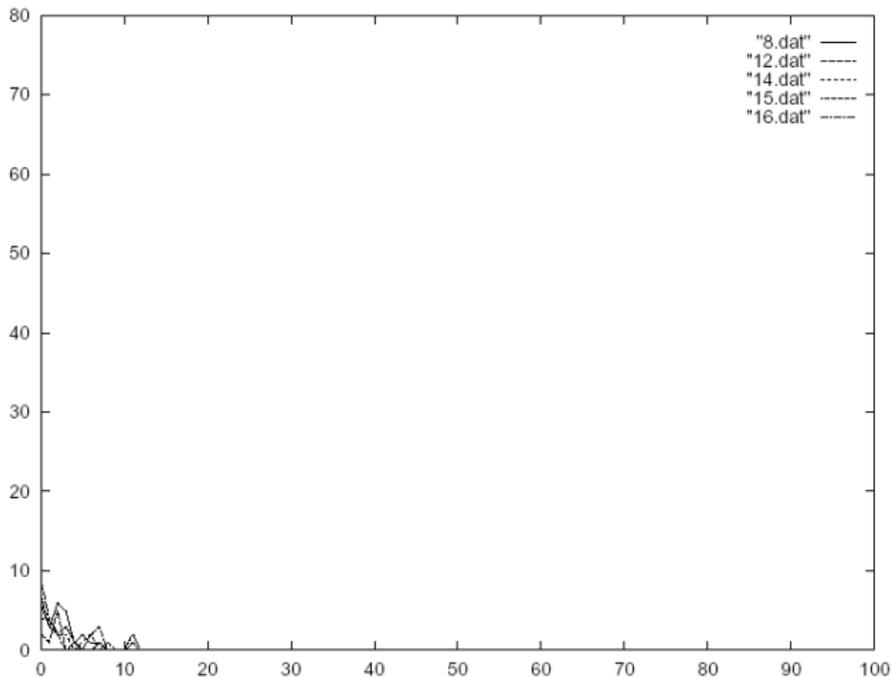
# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS CANALLAS



# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS INGENUAS



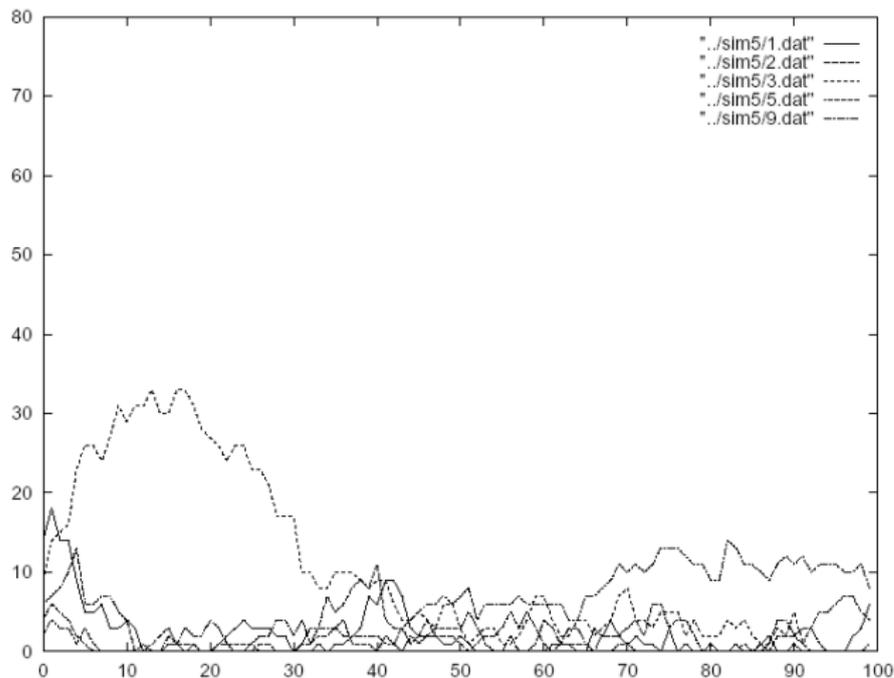
# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS DESCONFIADAS



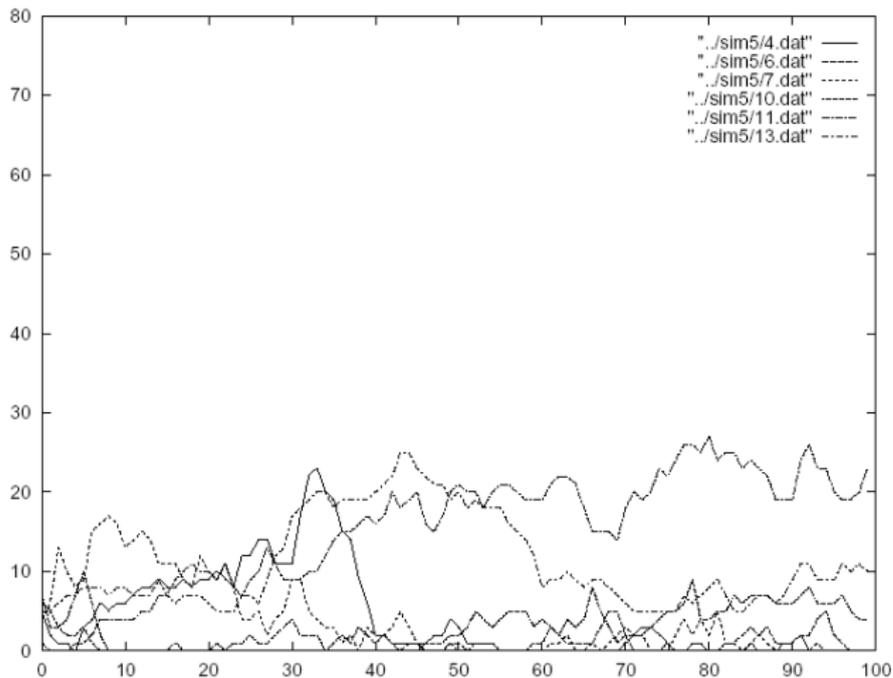
## EXPERIMENTO 3

- Las estrategias canallas se hacen con la población
- Hay una pequeña oscilación de las otras pero acaban desapareciendo
- Esto es debido a la codificación:
  - Cuando estrategias desconfiadas e ingenuas tienen éxito se cruzan entre sí
  - A causa de la codificación los descendientes son en mayor número estrategias canallas
- Para comprobarlo se elimina el sobrecruzamiento y se aumenta la mutación hasta 0,02 (20 veces)

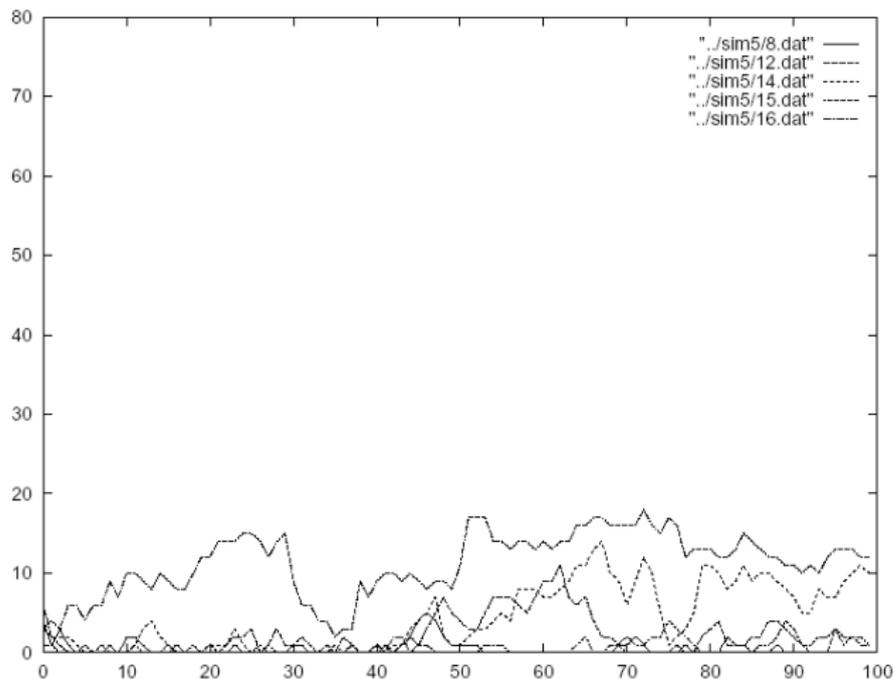
# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS CANALLAS



# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS INGENUAS



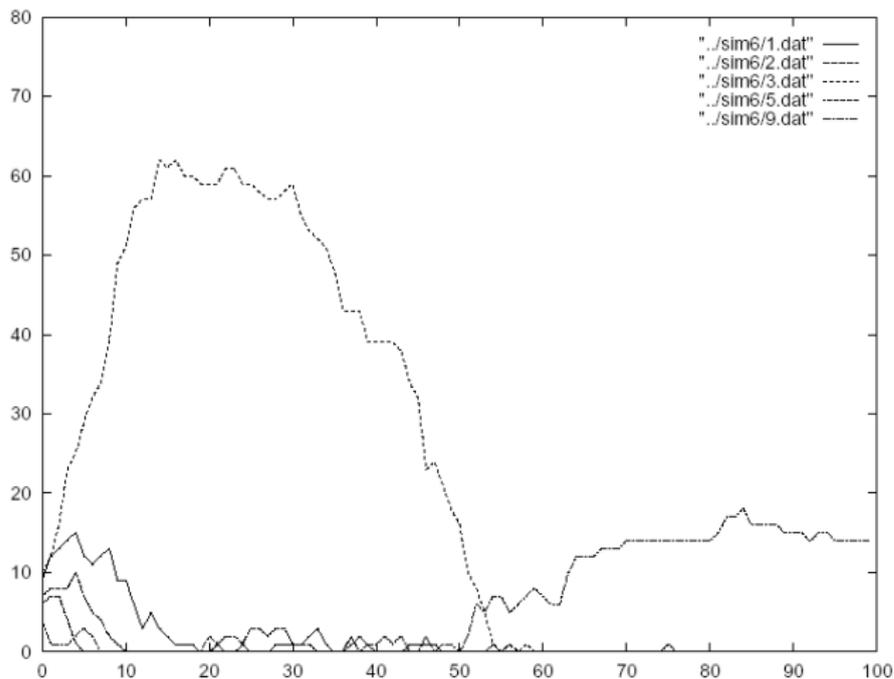
# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS DESCONFIADAS



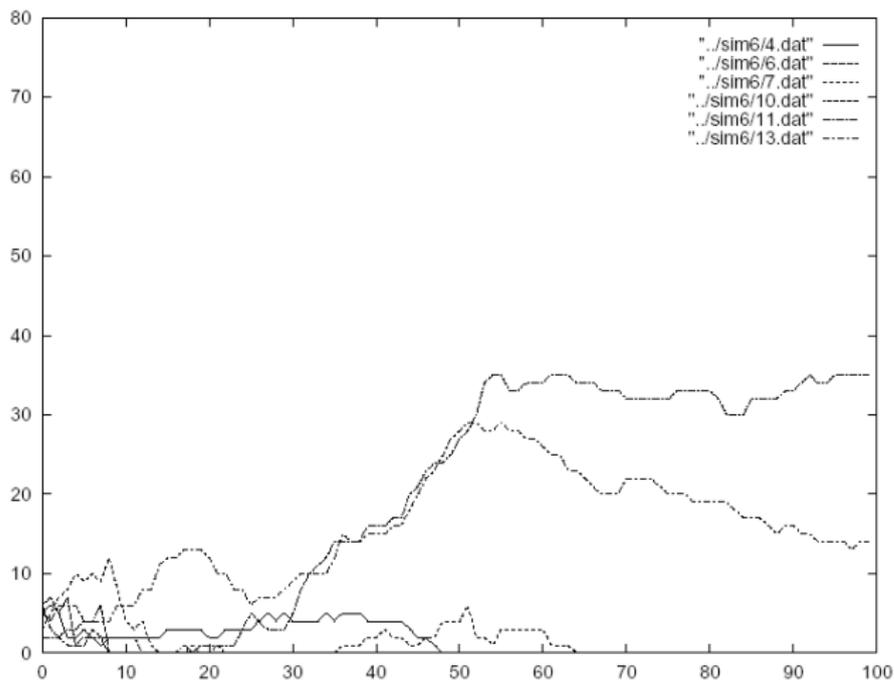
## EXPERIMENTO 4

- Desaparece el efecto de la codificación
- Las estrategias ingenuas y desconfiadas crecen en número
- Las estrategias canallas desaparecen
- Hay un mayor nivel de ruido debido a la alta mutación y las estrategias vuelven a surgir y oscilan levemente
- Para evitarlo se introduce de nuevo sobrecruzamiento pero se disminuye su probabilidad hasta 0,6 y la mutación a su valor de 0,001

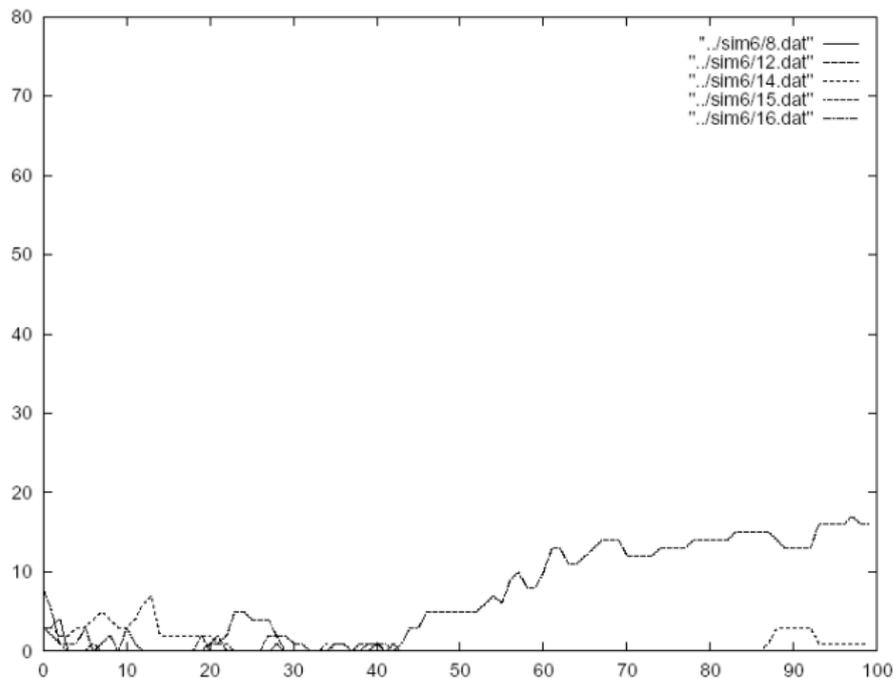
# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS CANALLAS



# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS INGENUAS

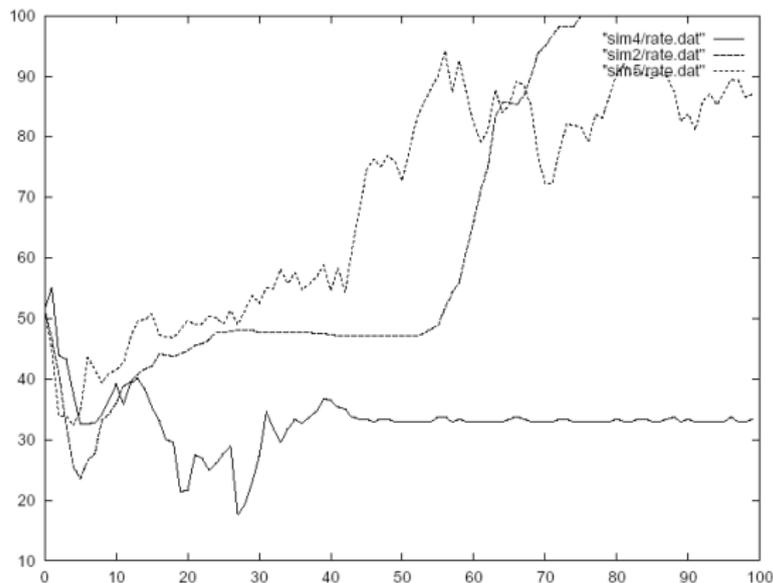


# EVOLUCIÓN ESTRATEGIAS DESCONFIADAS



## TASA DE COOPERACIONES

- Las estrategias cooperativas se estabilizan y desaparecen las traidoras
- Comparación entre cooperaciones en los experimentos:



# TEMARIO

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 ALGORITMOS GENÉTICOS
- 3 COMPUTACIÓN EVOLUTIVA
- 4 COMPUTACIÓN CON INSPIRACIÓN BIOLÓGICA
- 5 **BIOLOGÍA Y COMPUTACIÓN**
  - Efecto Baldwin
  - Estrategias Evolutivamente Estables
  - **Vida Artificial**