

**EMERGENCIA EVOLUTIVA DE GRUPOS COOPERATIVOS
GUIADOS POR EL ENTORNO**

Proyecto de Ingeniería

ERIKA SUÁREZ VALENCIA

200743588

erika.suarez@correounivalle.com

Ángel Gracia Baños, Ph.D

angel.garcia@correounivalle.edu.co

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación

Programa Académico de Ingeniería de Sistemas

Ssntiago de Cali, Noviembre 29 de 2013

Índice

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos	5
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1. Computación Evolutiva	5
3.1.1. Algoritmos genéticos	5
3.2. Los genes como unidad de selección	5
3.3. <i>Kin Selection</i>	5
3.4. <i>Inclusive Fitness</i>	6
3.5. Selección de grupo o multinivel	6
3.6. <i>Positive Assortment</i> / <i>Negative Assortment</i>	6
3.6.1. Assortative mixing	7
3.7. Regresión lineal por mínimos cuadrados	7
3.8. Glosario	7
4. ESTADO DEL ARTE	8
4.1. A Theory of Group Selection	8
4.2. Individual Selection for Cooperative Group Formation	9
4.3. A Mechanism for the Evolution of Altruism among Nonkin: Positive Assortment through Environmental Feedback	10

5. TRABAJO REALIZADO	10
5.1. Modelo de los <i>trait-groups</i>	10
5.1.1. Detalles de implementación	11
5.1.2. Pruebas y Resultados	12
5.1.3. Conclusiones del modelo	18
5.2. Modelo de agentes	19
5.2.1. Detalles de implementación	20
5.2.2. Pruebas y Resultados	21
5.2.3. Conclusiones del modelo	22
6. CONCLUSIONES	22
7. TRABAJOS FUTUROS	23
8. REFERENCIAS	23
9. ANEXOS	24

Resumen

1. INTRODUCCIÓN

La evolución es el proceso resultante de los cambios heredados en una población durante muchas generaciones. De una forma más general se puede ver un sistema evolutivo como una población de individuos que está sometida a una presión selectiva y que se reproduce generando variabilidad durante el proceso debido a las replicas imperfectas o a la combinación de dos o más individuos. La presión selectiva fue introducida por Darwin [1] como selección natural y se refiere a la conservación de características que favorecen a un individuo, tales como reproducirse a una tasa mayor que otros o sobrevivir en un medio determinado, y a la destrucción de las características que son perjudiciales.

Existen muchos puntos de vista acerca del funcionamiento de la evolución, el punto clave de discusión es el de la presión selectiva y esto lleva a la generación de discusiones sobre el nivel al que actúa esta presión, la discusión se divide principalmente en dos: la selección individual y la selección de grupo.

Por el lado de la selección individual la mayor fuerza está dada por la propuesta de Richard Dawkins [2], en la que afirma que la selección ocurre solo al nivel de los genes, pues son los que especifican el fenotipo de los organismos, y que el comportamiento altruista solo es aparente ya que ocurre entre individuos relacionados, es decir, que tienen genes idénticos. Esta teoría es respaldada por las teorías de *Kin Selection* e *Inclusive Fitness*.

En cuanto a la selección de grupo existen varias teorías que explican otros medios por los que el comportamiento altruista puede ser objeto de selección, algunas teorías estudian situaciones directamente relacionadas con el comportamiento entre los individuos y otras lo hacen por medio de las condiciones ambientales en el que se encuentra la población. En este trabajo se abordaran aquellas teorías a favor de las condiciones ambientales.

Es importante resaltar que en el momento que algunas de las teorías nacieron no se tenía la capacidad de cómputo con la que se cuenta ahora, por lo tanto no había forma de probar con una simulación de los modelos si éstos funcionaban o eran realmente útiles, éste es el caso del modelo de los *trait-groups* [3] que ha sido utilizado ampliamente como base, tanto teórica como práctica en otros trabajos.

El trabajo presentado en este documento tiene como finalidad encontrar las condiciones ambientales que favorecen la formación de grupos y la realización de un modelo que permita comprobarlo. El trabajo está compuesto de dos partes: primero se realiza una implementación del modelo de los *trait-groups* y se analiza su funcionamiento de acuerdo a la cantidad de generaciones que transcurren y la configuración cantidad de grupos - individuos por grupo. Posteriormente se realiza una simulación de agentes basado en el modelo de Pepper y Smuts [4], con modificaciones en la reproducción y muerte de los agentes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Verificar o rechazar la hipótesis de Richard Dawkins en la que afirma que la presión selectiva no puede darse a nivel de grupo.

2.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información sobre las características propias de un ambiente que favorezca la cooperación de individuos.
- Plantear un modelo que incluya estas características y permita el análisis de las mismas.
- Implementar un algoritmo evolutivo acorde al modelo realizado.
- Analizar resultados del comportamiento del algoritmo ante diferentes entradas y diferentes configuraciones de las características.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Computación Evolutiva

Rama de la inteligencia artificial que reúne las diferentes estrategias de resolución de problemas inspiradas en el proceso de evolución biológica, tales como los algoritmos genéticos, la programación genética y las estrategias genéticas, entre otros.

3.1.1. Algoritmos genéticos

Estos algoritmos fueron ideados por John Holland en los años 70's, son algoritmos de búsqueda y optimización que son usados frecuentemente en problemas combinatorios (continuos y discretos).

Estos algoritmos son los más similares a la selección natural. Consiste en codificar las posibles soluciones al problema en un cromosoma, de tal forma que el algoritmo pueda crear una población de soluciones y aplicar sobre ella el proceso evolutivo [5]. Este proceso evolutivo consiste en seleccionar con mayor probabilidad los cromosomas con mayor aptitud para llevarlos al *mating pool*, donde se les aplican operadores genéticos como el cruce y la mutación, para finalmente reintegrarlos a la población. El proceso se repite hasta que se cumpla un criterio de parada, que suele ser la cantidad de generaciones que transcurren [6].

3.2. Los genes como unidad de selección

Entre los pioneros de la teoría de la evolución con los genes como unidad sometida a la selección natural está el biólogo George Williams, esta teoría fue popularizada más adelante por Richard Dawkins. La razón principal de Williams es que los fenotipos son el resultado de la interacción del genotipo con el ambiente, por lo tanto sus manifestaciones son extremadamente temporales, y en consecuencia no pueden producir por sí mismas un cambio acumulativo [7]. Además el gen es la entidad informacional capaz de persistir un lapso de tiempo evolutivamente significativo.

3.3. *Kin Selection*

Se refiere a la selección de los rasgos cuyos efectos favorecen también la supervivencia de los individuos relacionados, incluyendo tanto a la descendencia del individuo (en relación a la aptitud directa -*direct fitness*-) como a los que no son descendencia del mismo (en relación a la aptitud indirecta -*indirect fitness*-) [8, 9].

3.4. *Inclusive Fitness*

Es un concepto mayor al de *Kin Selection*, pero muy a menudo se usan como sinónimos. Representa los efectos acumulativos de los genes que ocasionan comportamientos específicos relacionados no solo con la aptitud del individuo mismo, medida a través de la cantidad de copias de sí mismo que produce, sino también con sus relativos, es decir aquellos que comparten uno o más genes y por lo tanto un ancestro [10, 11].

Hamilton propuso la “Aptitud Inclusiva” como un mecanismo para la evolución del altruismo y describió cuando un gen que ocasiona un comportamiento altruista se difundiría en la población o no de acuerdo a la siguiente regla [12, 8]:

$$br > c$$

Donde b es el beneficio del individuo receptor, c el costo del individuo actor y r la relación que hay entre ellos.

3.5. Selección de grupo o multinivel

Existen algunas teorías alternativas a la de *Kin Selection* para explicar la evolución del altruismo, éstas se dividen principalmente en dos alternativas: Las que requieren habilidades cognitivas específicas por parte de los individuos y las que están dadas por el ambiente.

En el primer grupo se encuentra la reciprocidad, que a su vez se divide en dos tipos: directa e indirecta. La reciprocidad directa es cuando dos individuos reciben un beneficio por ayudarse entre sí, requiere que tengan más de un encuentro entre ellos y que lleven un registro de las acciones que los otros individuos han realizado, para así mismo reaccionar. La forma más común en la que se estudia este tipo de comportamientos es con juegos de un solo intento pero con varias repeticiones, por ejemplo con el dilema del prisionero.

La reciprocidad indirecta no requiere que cada individuo lleve registro de lo que hacen los demás, pero sí de una reputación pública que cada uno construye, por ejemplo los rumores en la cultura humana. Los mecanismos del tipo de la reciprocidad requieren mayor información por parte de los individuos y por lo tanto no logran explicar la cooperación en interacciones anónimas [13].

La otra alternativa para explicar la evolución de los comportamientos altruistas son las poblaciones espacialmente estructuradas expuestas principalmente en la teoría propuesta por D.S Wilson de los trait-groups [3]. Según esta teoría no se requiere trabajo extra por parte de los individuos para recibir los beneficios de cooperar.

3.6. *Positive Assortment / Negative Assortment*

En cuanto a la distribución de una población de individuos en grupos, cuando los individuos del mismo tipo son organizados de forma no aleatoria en los mismos grupos, se dice que la “clasificación es positiva” (*Positive Assortment*), pues los individuos son en promedio más parecidos a los miembros de su grupo que a la población en general [4].

Cuando los individuos del mismo tipo son organizados en diferentes grupos, de forma no aleatoria, se dice que la “clasificación es negativa” (*Negative Assortment*), pues los individuos son en promedio más parecidos a la población en general que a los miembros de su grupo.

3.6.1. Assortative mixing

Es un concepto equivalente al de *positive assortment*. Se dice que una red presenta *assortative mixing* cuando los nodos que tienen más conexiones tienden a estar conectados con nodos que también tienen muchas conexiones [14].

De forma contraria y equivalente a *negative assortment*, se dice que una red es *disassortative* cuando los nodos que tienen más conexiones tienden a estar conectados con nodos que tienen pocas conexiones.

3.7. Regresión lineal por mínimos cuadrados

Los mínimos cuadrados es un método matemático usado para estimar los parámetros de la función que mejor modele un conjunto de puntos. Su objetivo es minimizar el error cuadrático entre los puntos reales y los resultantes por la función que se desea ajustar [15].

En el caso del modelo de regresión lineal simple, se busca ajustar una recta a los puntos, es decir la función $y = a + bx$, donde los parámetros que se estiman son a y b , los cuales corresponden a [16]:

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum (x^2) - (\sum x)^2} \quad (1)$$

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n}$$

Donde n es la cantidad total de puntos.

3.8. Glosario

- Emergencia: Propiedades o procesos de un sistema que surgen a partir de la interacción de sus partes y que no está definido por ninguna regla o control centralizado.
- Gen: En biología es un segmento de ADN que codifica una molécula mayor, como una proteína por ejemplo. En los algoritmos genéticos es el equivalente: es cada una de las partes que componen la solución que codifica el cromosoma.
- Genotipo: Es la codificación misma del cromosoma.
- Fenotipo: Corresponde a la solución del problema codificada en el cromosoma.
- Aptitud (fitness): En biología se refiere a la habilidad de un individuo para sobrevivir y reproducirse. En computación es la medida resultante de evaluar la solución que codifica un cromosoma, la cuál sirve para clasificar que tan buena es.
- Aptitud absoluta: La medida de la aptitud de un individuo con respecto a los demás integrantes del mismo grupo.
- Aptitud relativa: El valor en sí mismo de la aptitud de un individuo.

- *Mating pool*: Subconjunto de la población total, seleccionados para generar los nuevos individuos a partir de ellos.
- Traicionero / Desertor: En el dilema del prisionero corresponde a la decisión de confesar el crimen, es decir, traicionar al cómplice para que sea éste quien sea condenado.
- Coeficiente de regresión: Corresponde a la pendiente de la recta resultante de la regresión lineal, es decir de la función que mejor se ajusta a un conjunto de puntos.
- Curva logística: Función que modela el crecimiento de una población que depende de la existencia de un recurso, el cual a su vez crece exclusivamente en función del tiempo. El resultado es una función sigmoidea donde se muestra que la población crece exponencialmente al principio, posteriormente se forma un cuello de botella a causa de la falta del recurso y finalmente éste se agota estancando el crecimiento.

4. ESTADO DEL ARTE

En la literatura existen trabajos que abordan la selección de grupo bajo diferentes enfoques. La mayoría de ellos hacen uso de este tipo de selección para simular comportamientos de sistemas, como los económicos. Por otra parte hay trabajos que por diferentes medios tratan de explicar la evolución de la cooperación y, de forma directa o indirecta, de los grupos.

4.1. A Theory of Group Selection

El autor presenta un modelo teórico que se basa en los diferentes tipos de etapas por las que pasan los organismos en su ciclo de vida. El modelo se compone de dos estados claramente distinguidos, el primero consiste en que los individuos son separados en grupos donde se lleva a cabo el proceso de depredación. Y en el segundo estado los individuos salen de los grupos, son mezclados, se reproducen y posteriormente redistribuidos en la misma cantidad de grupos, éste último estado corresponde a la etapa de dispersión que es la unidad de población mayormente concebida. El autor destaca que la mayoría de las interacciones ecológicas, como alimentación y depredación, entre otras, ocurren en la primera etapa, por lo tanto llama al modelo: *trait-groups* (grupos de rasgos) [3].

En el modelo todos los individuos son iguales, solo difieren en un único rasgo, que los distingue entre altruistas y egoístas. Por esto se definen dos tipos de individuos, el donante que es quien manifiesta un rasgo (sin importar el tipo del rasgo), y el receptor que son todos aquellos que son afectados por la manifestación de dicho rasgo. La Figura 1 muestra los estados de los efectos resultantes de la manifestación de un rasgo. La línea continua representa el concepto tradicional de selección individual ($f_d > f_r$) y los puntos a la derecha de la misma serán los seleccionados, la línea punteada representa el concepto tradicional de selección de grupo ($f_d > -(N - 1)f_r$, donde N es la cantidad de individuos en el grupo) y los puntos por encima de ésta son seleccionados en éste caso.

Rotar la línea continua en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta coincidir con la línea punteada es equivalente a forzar al sistema a la selección de grupo. La propuesta del autor es que si se determina la composición de los grupos, en términos de proporción de individuos de cada rasgo, de forma aleatoria cualquier rasgo que incremente la aptitud absoluta del donante será seleccionado, independientemente de su aptitud relativa, es decir que $f_d > 0$.

El éxito de este modelo depende de (1) la validez del concepto de *trait-group* y (2) la variación en la composición de los grupos. En la práctica la heterogeneidad espacial es considerada una forma de grupos

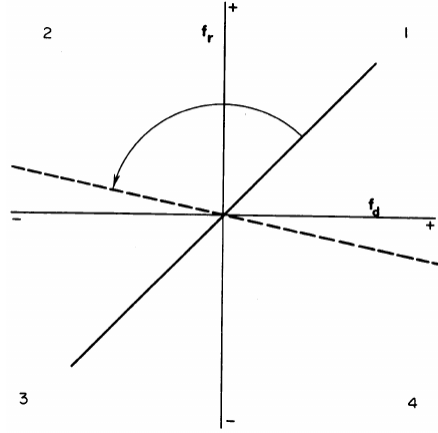


Figura 1: Puntos posibles de acuerdo al efecto de los rasgos en la aptitud del donante (f_d) y del receptor (f_r). El eje x representa la aptitud del donante, el eje y la aptitud del receptor.

de rasgos ya que al partir la población espacialmente, pero permitiendo migración de individuos, es un mecanismo equivalente al modelo propuesto. Mientras que los ambientes insulares pequeños constituyen un solo grupo de rasgo y clasifican en la selección individual.

Cabe resaltar que el modelo propuesto no tiene en cuenta la mutación de los rasgos y la reproducción genera una copia exactamente igual a cada individuo por toda la población, de manera que la presión selectiva se ve manifestada en el momento de la depredación.

4.2. Individual Selection for Cooperative Group Formation

Este trabajo tiene como base teórica el modelo de los *trait-groups* propuesto por D.S. Wilson [3]. El objetivo principal consiste en alcanzar evolutivamente las características que según se han estudiado favorecen la cooperación entre individuos, pero que normalmente han sido impuestas en otros modelos, tales como las poblaciones espacialmente estructuradas [17].

Los autores presentan un trabajo realizado con algoritmos genéticos, donde el genotipo de los individuos expresa dos parámetros, si éste es cooperador o egoísta y si “pertenece” a un grupo pequeño o grande. Se modela el crecimiento de cada tipo de individuo dentro de los grupos por medio de una ecuación simplificada de otros modelos de crecimiento de colonias de bacterias. Y al igual que en el modelo de los *trait-groups* no se tiene en cuenta la mutación de los individuos.

Con los demás parámetros constantes se realizaron trabajos previos para determinar los valores para los grupos grandes y pequeños y cuantas generaciones debían pasar los individuos dentro de los grupos antes de ser mezclados, de forma que los individuos altruistas sobrevivieran. Los valores tomados fueron: 4 individuos para los grupos pequeños, 40 para los grupos grandes y 4 generaciones dentro de los grupos.

Los resultados muestran que la formación de grupos pequeños compuestos por individuos cooperadores es favorecido después de un número determinado de generaciones. Los grupos grandes de individuos egoístas son favorecidos en un principio bajo el hecho de que hay suficientes cooperadores a los que explotar, por esta razón alcanza su máximo en pocas generaciones y luego decae. Como trabajo futuro se propone la exploración de estrategias incluyendo la mutación.

A pesar de basarse teóricamente en el modelo de los *trait-groups*, este trabajo tiene los estados invertidos. En el modelo de los *trait-groups* en la etapa de dispersión los individuos se reproducen, en este trabajo los individuos se reproducen dentro de los grupos. Y en el modelo original dentro de los grupos ocurre la depredación, en este modelo la depredación está implícita en (1) una constante de muerte para individuos de cada tipo y en (2) al reubicar los individuos en grupos son descartados aquellos que quedaron de últimos y no son suficientes para formar un nuevo grupo.

4.3. A Mechanism for the Evolution of Altruism among Nonkin: Positive Assortment through Environmental Feedback

En este trabajo se busca demostrar que los individuos con características diferentes son separados en grupos diferentes, con sus similares, gracias a que cambian el ambiente en el que se encuentran. Esto como alternativa a la teoría tradicional de la similitud genética. El objetivo principal es mostrar que los individuos altruistas tienden a permanecer agrupados espacialmente debido a que su efecto en el ambiente es menos dañino que el que causa un individuo egoísta. Exponen una característica muy importante y simple de un sistema que permite la evolución del altruismo: las acciones de los individuos disminuyen la calidad del ambiente en el que se encuentran [4].

El trabajo consiste en una simulación, en un espacio de dos dimensiones cuadrado, con dos tipos de agentes: plantas y animales. Donde las plantas están distribuidas uniformemente en forma de parches cuadrados y su única característica es la energía que tienen la cual crece de acuerdo a una curva logística. Para el otro tipo de agentes existen dos tipos de animales: moderado (altruista) y abusivo (egoísta), solo difieren en la cantidad de energía que consumen de una planta, los moderados consumen el 50 % y los abusivos el 99 %. Ambos tipos de animales tienen el mismo comportamiento de desplazamiento y costo metabólico por unidad de tiempo, y ninguno de ellos guarda una reserva de la energía consumida.

Se realizaron 10 ejecuciones del modelo, cada una con 10000 unidades de tiempo y se midió la agrupación de los individuos (*assortment*) en los parches de plantas, haciendo similitud a los *trait-groups*, a través de un coeficiente de regresión. La conclusión más importante es que el daño causado por los individuos al ambiente genera *positive assortment*, pues los individuos cooperadores tienden a agruparse.

Sin embargo, hay algunas características que son completamente necesarias para la veracidad de los resultados y están ausentes: Los individuos no se reproducen, mutan o mueren. Bajo estas condiciones es fácil deducir el resultado de las simulaciones, pues los animales moderados permanecerán más tiempo en una planta. Finalmente, debido a todo esto no se puede afirmar que el rasgo cooperativo se difunda en la población y menos definiendo *assortment* como la desviación de la similitud genética, además los resultados son dependientes de la cantidad de individuos por cada tipo.

5. TRABAJO REALIZADO

5.1. Modelo de los *trait-groups*

Los trabajos encontrados en la literatura basados en el modelo de los *trait-groups* [3] dan por sentado su funcionamiento, a pesar de que el autor no expone ciertos detalles, como la forma de representar la depredación, ni hay evidencia de haber utilizado el modelo para algún trabajo práctico. Puede ser

importante tener en cuenta detalles como éstos cuando se realizan modelos para predecir comportamientos de poblaciones y similares.

Algunos trabajos solo tomaron la idea de una estructura de población y sus manifestaciones, tal como la división espacial [4]. Otros tomaron el modelo total, pero realizaron modificaciones al mismo para buscar la emergencia de algunas características o validar otros modelos [17]. De manera que existe la posibilidad de que las modificaciones realizadas sean las que favorezcan la cooperación.

Al no encontrar una implementación del modelo original y para verificar su funcionamiento, el primer trabajo que se realizó es implementar el modelo de los *trait-groups* de la manera más exacta posible al modelo expuesto por D. S. Wilson [3].

El modelo original de los *trait-groups* está conformado por los siguientes pasos:

1. La población inicia dividida en grupos.
2. Ocurre depredación dentro de los grupos.
3. Todos los individuos salen de los grupos y se reproducen con una copia exacta de ellos mismos.
4. Los individuos vuelven a dividirse en grupos.
5. Se repite desde el paso 2.

5.1.1. Detalles de implementación

El modelo implementado cumple con los mismos pasos, pero permite agregar un paso entre el 3 y el 4: mutar la población. Éste paso es opcional y se ingresa al modelo como un parámetro de entrada, indicando la tasa de mutación que se desea.

Las características del modelo implementado son las siguientes:

- Los cromosomas tienen sólo un gen, un número aleatorio entre 0 y 1 que determina si el individuo es altruista ($< 0,5$) o egoísta ($\geq 0,5$).
- La aptitud de los cromosomas es determinada en un encuentro de depredación, por medio de la matriz de pago mostrada en la table 1.
- En caso de que la tasa de mutación sea mayor a 0, ésta se realiza sumando un número aleatorio entre -0.1 y 0.1 al gen del cromosoma.

	Coopera	Traiciona
Coopera	3,3	0,5
Traiciona	5,0	1,1

Tabla 1: Matriz de pago para la evaluación de los individuos

En la etapa de depredación, dentro de cada grupo, se enfrentan dos individuos seleccionados aleatoriamente y se prosigue de acuerdo a la situación:

- Si los dos individuos cooperan, ambos sobreviven.
- Si uno coopera y uno traiciona, muere el que coopera.
- Si ambos traicionan puede (1) morir uno de los dos aleatoriamente o (2) morir los dos individuos. Esta condición se ajusta por medio de un parámetro del modelo.

La cantidad de encuentros de depredación que ocurren en cada paso es ajustable como una entrada al modelo. Por defecto este valor corresponde a la mitad de los individuos que hay dentro de un grupo, es decir, por ejemplo, si hay 10 individuos dentro de cada grupo, ocurren 5 encuentros.

Los demás parámetros del modelo son: la cantidad de grupos, la cantidad de individuos dentro de cada grupo y la cantidad de generaciones a ejecutar (una generación corresponde a la ejecución de los pasos 2 a 4 en el caso del modelo original). Esto con el fin de analizar que configuraciones cantidad de grupos - individuos por grupo favorecen la propagación de los individuos cooperadores y si es un evento temporal o estable.

5.1.2. Pruebas y Resultados

Se realizaron diferentes pruebas, con las siguientes configuraciones:

Cantidad de generaciones: 100, 1000 y 1000

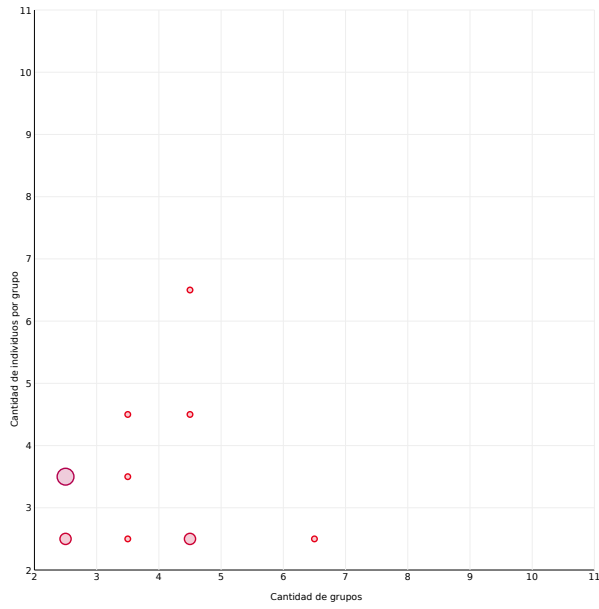
Tasa de mutación: 0 %, 1 % y 10 %

Al encuentro de dos desertores: muere uno, mueren los dos

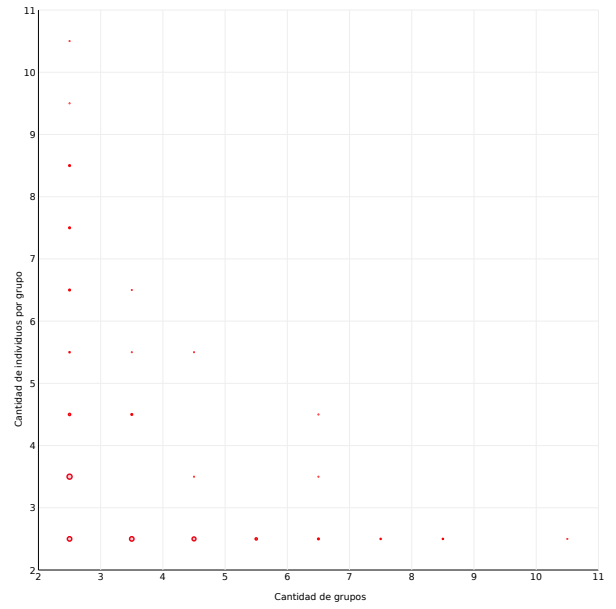
En todas las pruebas se vario la cantidad de grupos y la cantidad de individuos por grupos entre 2 y 10. Y se realizaron 10, 100 y 1000 ejecuciones del algoritmo, para contar cuantas veces cada configuración cantidad de grupos - individuos por grupo es exitosa, es decir, que la cantidad de individuos cooperadores en la población aumenta tras finalizar la ejecución del modelo.

A continuación se muestran los resultados de algunas pruebas realizadas, para todas las gráficas el eje x es la cantidad de grupos, el eje y es la cantidad de individuos dentro de cada grupo y el tamaño del círculo indica el porcentaje de veces en las que la configuración cantidad de grupos - individuos por grupo fue exitosa.

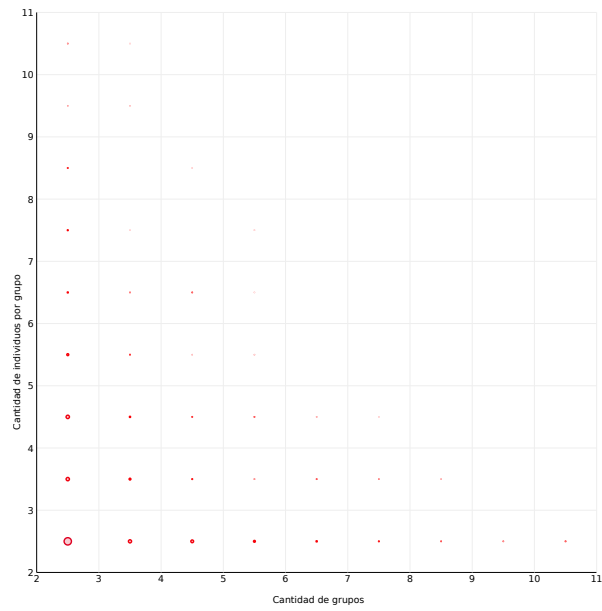
Las gráficas se muestran en grupos de tres para facilitar su comparación.



(a) 10 ejecuciones.

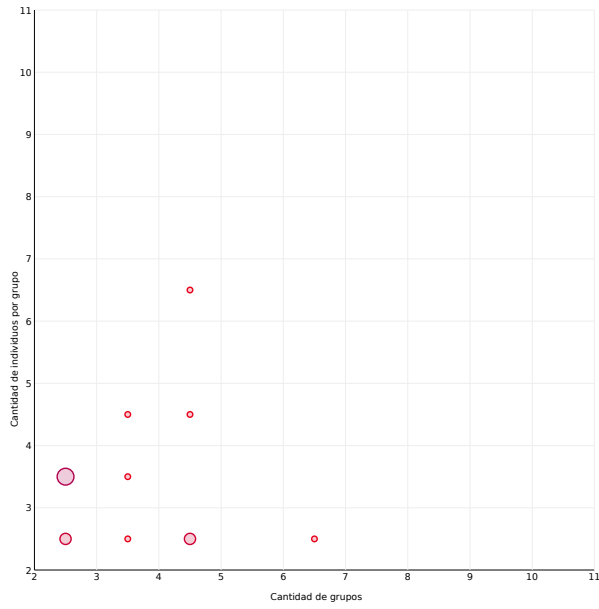


(b) 100 ejecuciones.

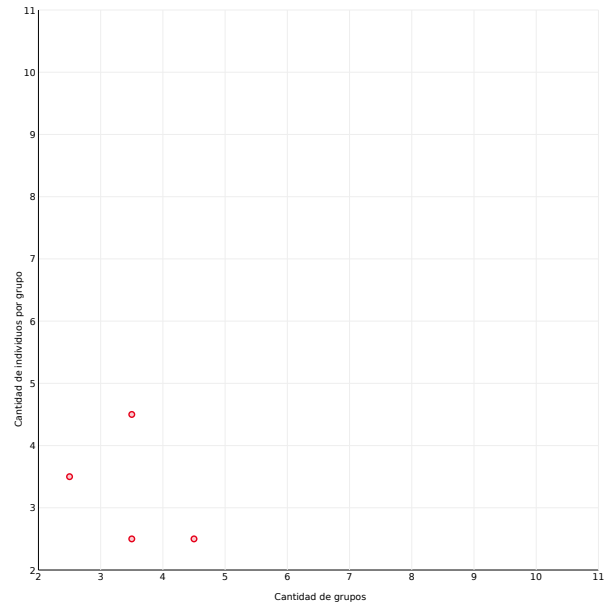


(c) 1000 ejecuciones.

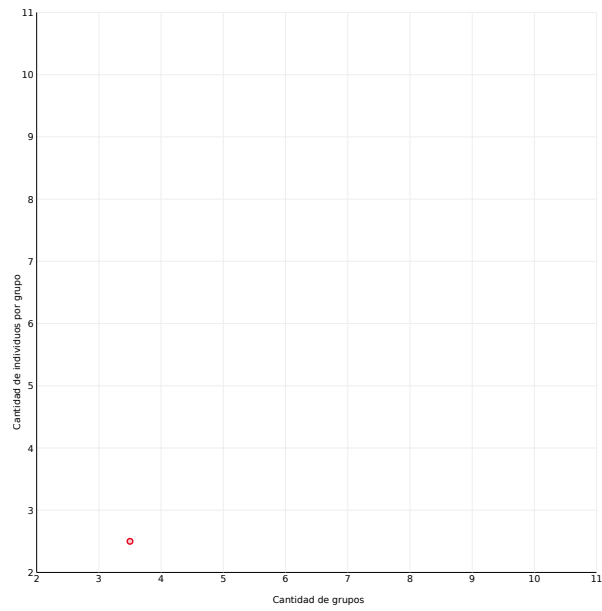
Figura 2: Pruebas con 100 generaciones, 0% tasa de mutación y matando un desertor al encuentro de dos de ellos.



(a) 0% tasa de mutación.

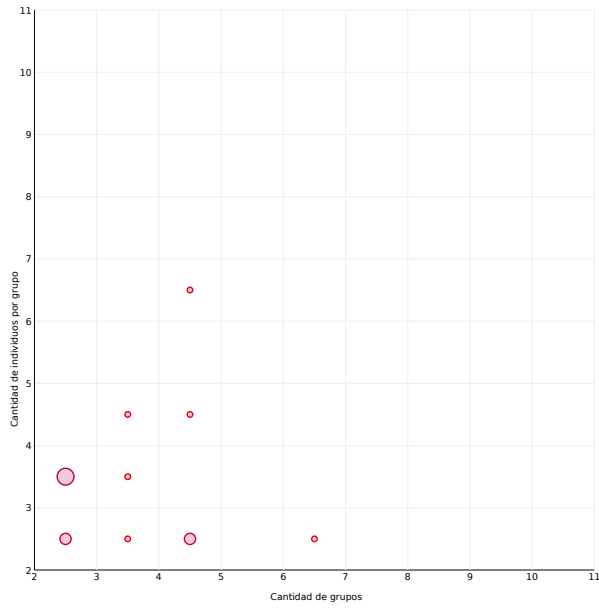


(b) 1% tasa de mutación.

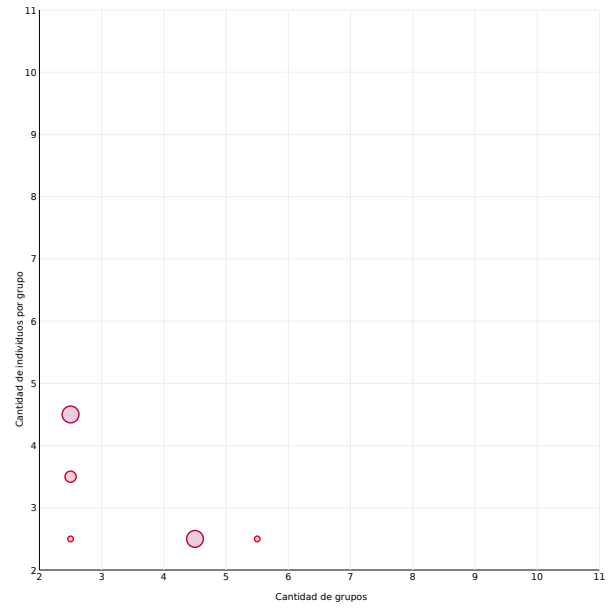


(c) 10% tasa de mutación.

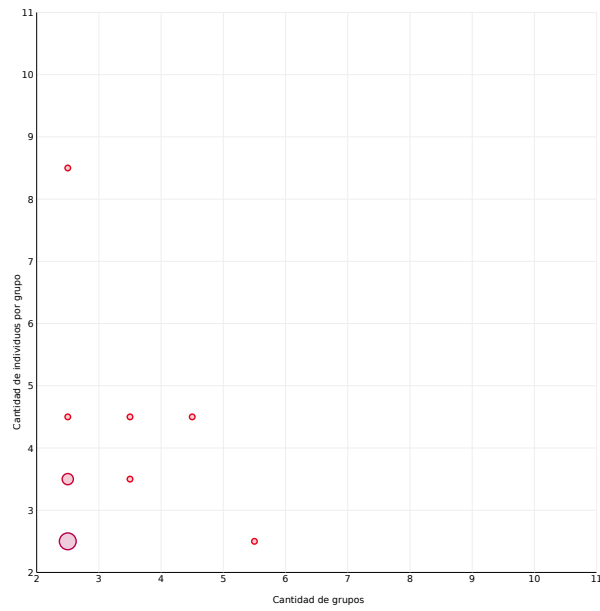
Figura 3: Pruebas con 100 generaciones, 10 ejecuciones y matando un desertor al encuentro de dos de ellos.



(a) 100 generaciones.

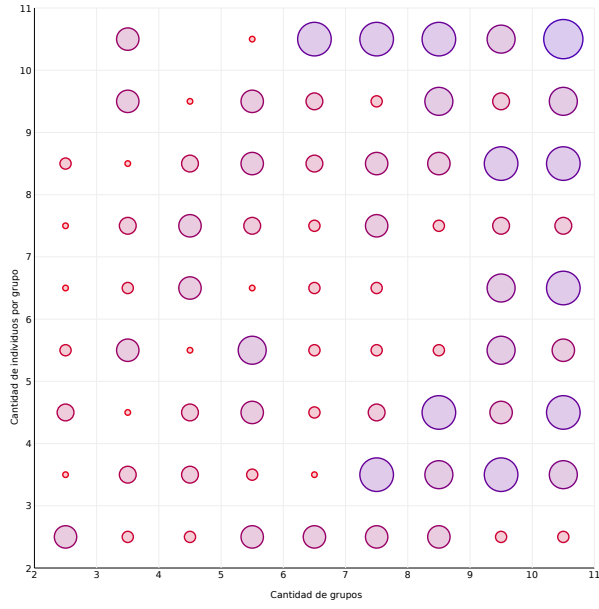


(b) 1000 generaciones.

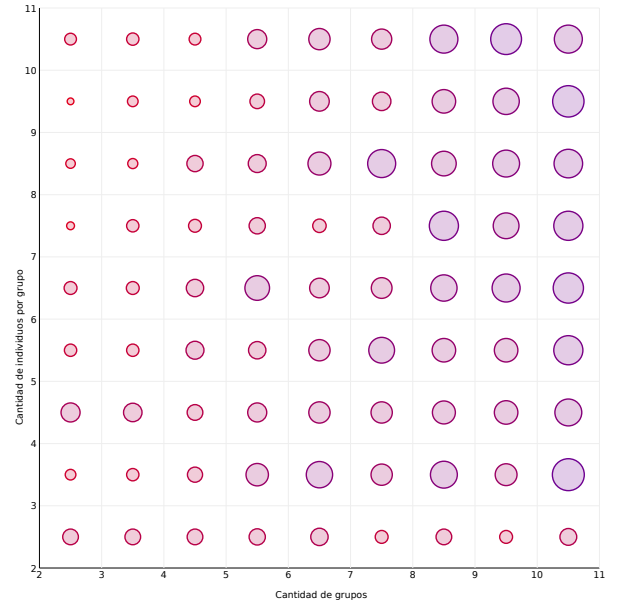


(c) 10000 generaciones.

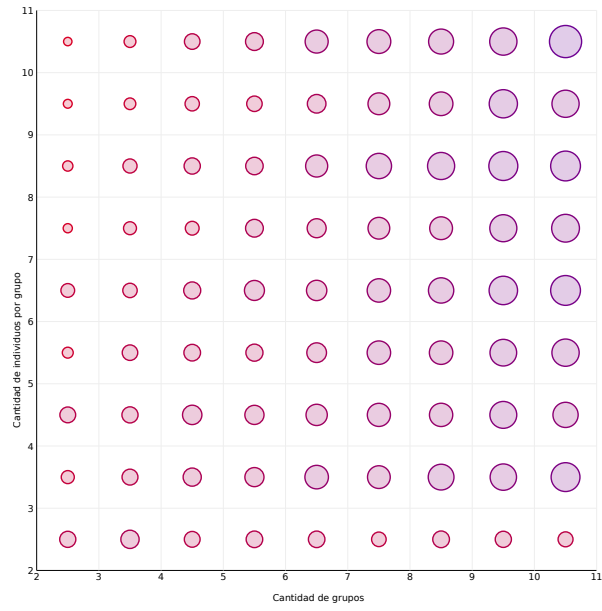
Figura 4: Pruebas con 10 ejecuciones, 0% tasa de mutación y matando un desertor al encuentro de dos de ellos.



(a) 10 ejecuciones.

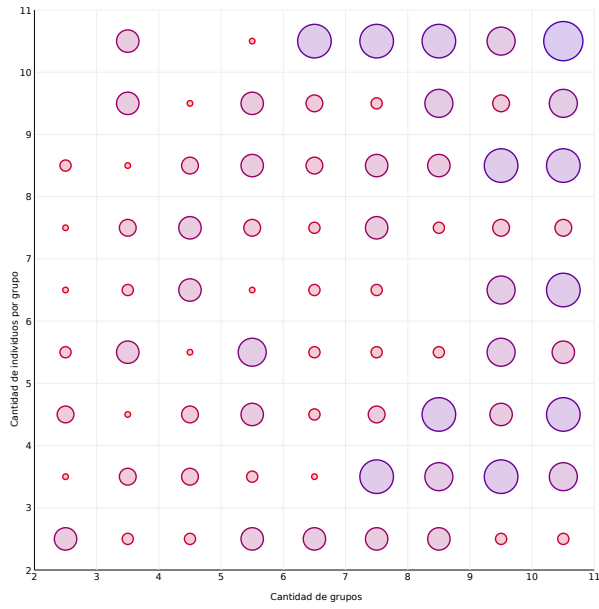


(b) 100 ejecuciones.

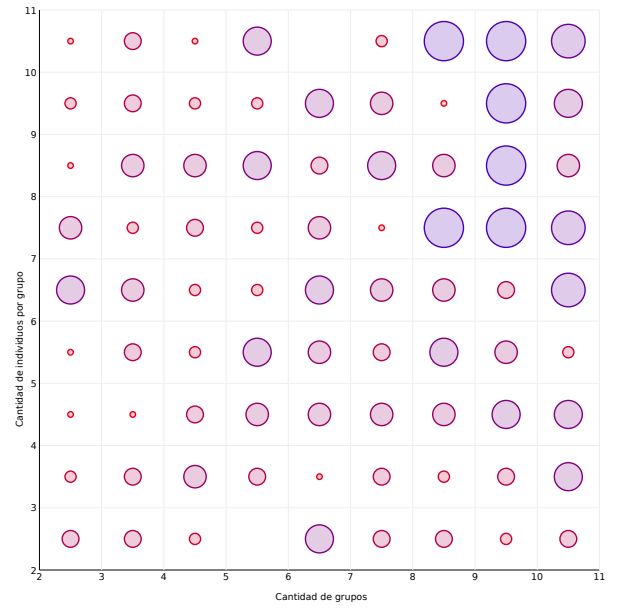


(c) 1000 ejecuciones.

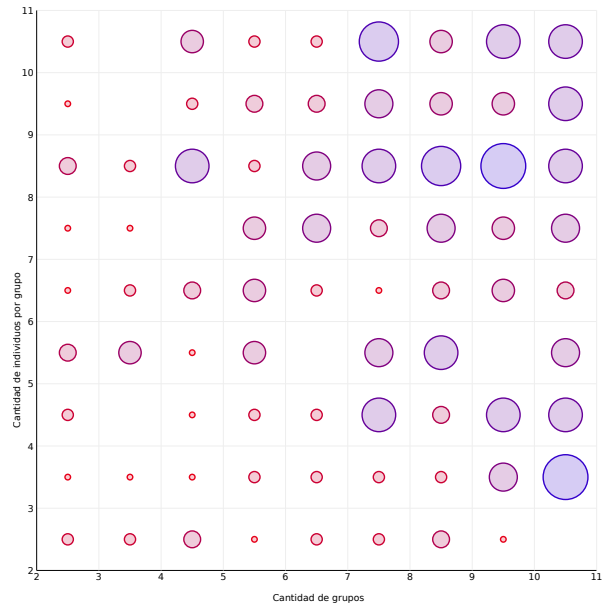
Figura 5: Pruebas con 100 generaciones, 0 % tasa de mutación y matando los dos desertores al encuentro de dos de ellos.



(a) 0 % tasa de mutación.

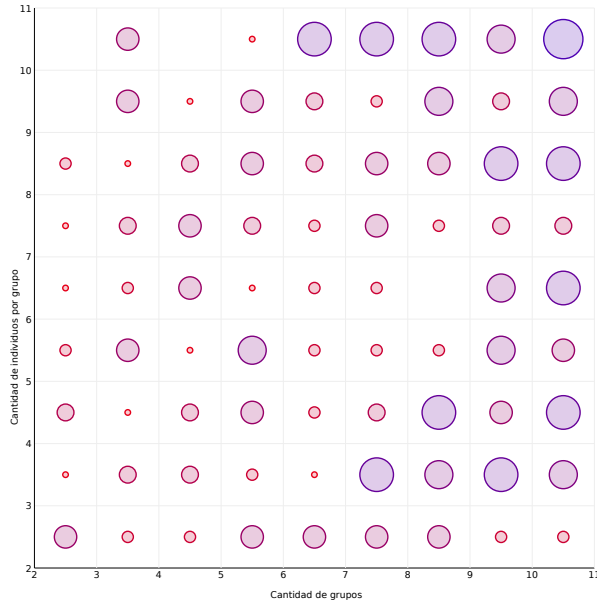


(b) 1 % tasa de mutación.

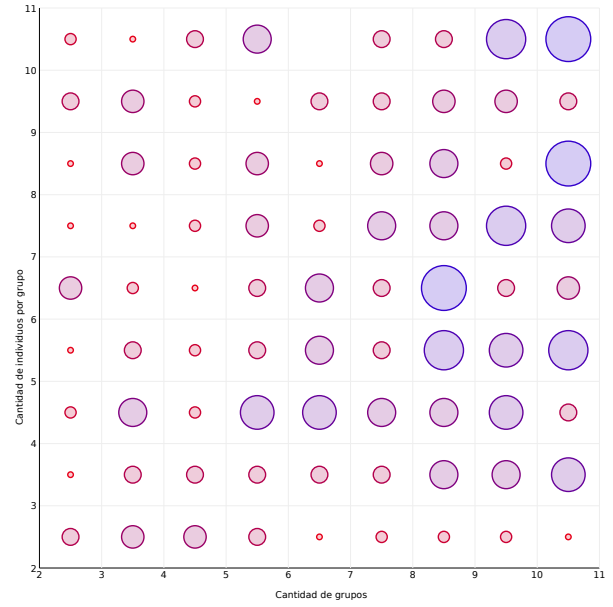


(c) 10 % tasa de mutación.

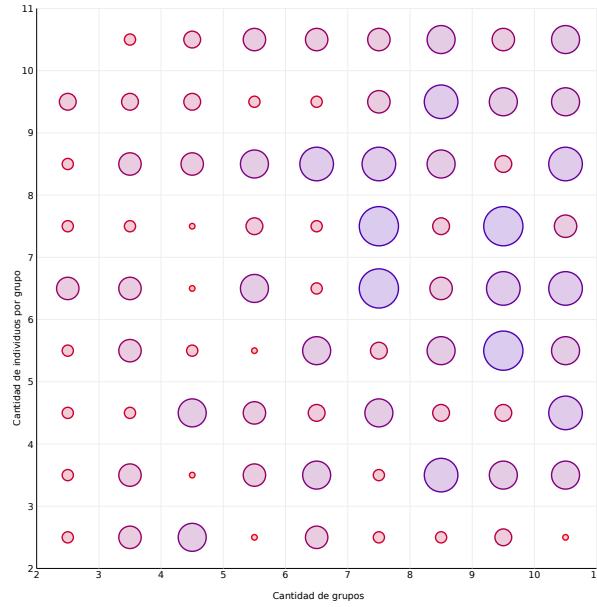
Figura 6: Pruebas con 100 generaciones, 10 ejecuciones y matando los dos desertores al encuentro de dos de ellos.



(a) 100 generaciones.



(b) 1000 generaciones.



(c) 10000 generaciones.

Figura 7: Pruebas con 10 ejecuciones, 0% tasa de mutación y matando los dos desertores al encuentro de dos de ellos.

5.1.3. Conclusiones del modelo

- El modelo no es completamente robusto, dado que al modificar detalles pequeños los resultados cambian bruscamente. Esto se ve reflejado cuando cambia la cantidad de desertores que mueren en un encuentro.

- Bajo la condición de matar solo un desertor al encuentro de dos de ellos:
 - El modelo se comporta de acuerdo a lo descrito por D. S. Wilson, ya que al variar los otros parámetros, los resultados tienen el mismo patrón, mostrando en ellos que los casos exitosos ocurren más cuando la población es pequeña y principalmente hacia los grupos pequeños.
 - Los resultados se ajustan a los obtenidos por otros trabajos en la literatura, donde se muestra que los individuos altruistas son favorecidos en grupos pequeños.
- Al variar la mutación de la población los resultados se ven ligeramente afectados con respecto a la cantidad de casos exitosos. Sin embargo el patrón de los resultados se conservan.

5.2. Modelo de agentes

En el modelo presentado por Pepper y Smuts [4], se trata de demostrar que los individuos altruistas se difunden en la población, bajo la premisa de que las acciones de los individuos disminuyen la calidad del ambiente en el que se encuentran. En la table 2 se muestran los parámetros con los que fueron realizadas las ejecuciones del modelo original.

Parameter	Value
Time steps per run	10000
Plants:	
Patch width (cells)	4
Gap width (cells)	10
Minimum number of plants	1000
Logistic growth rate R	0.2
Maximum size (energy)	10
Foragers:	
Total population size	80
Frequency of restrained foragers (%)	50
Metabolic rate (energy units per time step)	2
Feeding restraint (% uneaten)	1 or 50

Tabla 2: Parámetros estándar del modelo original.

La ejecución del modelo sigue los siguientes pasos:

1. Se ubica la mínima cantidad de plantas en parches cuadrados de acuerdo a los parámetros *Patch width* (ancho del parche) y *Gap width* (espacio entre parches en cada eje). Posteriormente se rellena con más plantas con tal que queden parches cuadrados completamente llenos y que el espacio global también sea cuadrado.
2. Se ubican los animales de forma aleatoria en una celda que contenga una planta, pero no otro animal.
3. Durante cada unidad de tiempo, todos los agentes son seleccionados uno a uno de forma aleatoria para realizar una acción:
 - a) En caso de ser planta crece.

- b) En caso de ser animal se mueve de celda y come de la planta en la que se ubica. Todos los animales se mueven bajo la misma regla:
- 1) Busca entre las 8 celdas vecinas la que tenga la planta con mayor energía, si ésta cumple con el costo metabólico se mueve a ella.
 - 2) Sino, escoge una celda aleatoria que no tenga un animal en ella.

Sin embargo, las siguientes características del modelo hacen que sus resultados sean predecibles:

- Los agentes animales no mueren, se reproducen ni mutan. Por lo tanto no se puede afirmar que el altruismo se difunde en la población, ya que la cantidad de animales de cada tipo no varía.
- Los agentes animales no son afectados de ninguna forma por no alimentarse, ya que los animales no cuentan con una reserva de energía. Esto significa que el costo metabólico por unidad de tiempo no tiene ningún funcionamiento.

Finalmente, ya que los individuos cooperadores (*restrained foragers*) comen la mitad de lo que comen los egoístas (*unrestrained foragers*) es de esperarse que permanezcan más tiempo en una misma planta y por lo tanto es altamente probable que se agrupen con el paso del tiempo.

5.2.1. Detalles de implementación

El modelo realizado pretende tener características más realistas, por lo tanto presenta las siguientes modificaciones con respecto al original. Estas modificaciones fueron realizadas con base al libro *Growing Artificial Societies* [18]:

- Los animales cuentan con reserva de energía.
- Los agentes animales se reproducen, mutan y mueren.
- La cantidad de animales cooperadores y egoístas no es fija, es aleatoria.
- El porcentaje de alimentación de los animales es aleatorio.

La ejecución sigue los mismos pasos que el modelo original, pero se agrega un paso 4 que consiste en reproducir y mutar los animales, esto se lleva a cabo de la siguiente forma:

Selección: Se realiza selección por torneo, la cantidad de energía en la reserva de cada animal corresponde a la aptitud del mismo. El tamaño del *mating pool* es el 60 % del tamaño de la población.

Mutación: Se muta el 1 % del *mating pool*, consiste en sumar al porcentaje de alimentación del animal un número entre -0.1 y 0.1.

Reemplazo: Se realiza por torneo, reemplazando al individuo con menor energía de reserva, pero conservando invariante el tamaño de la población.

Los parámetros ajustables al modelos son los mismos que el original, a excepción de la cantidad de cooperadores.

5.2.2. Pruebas y Resultados

Para medir el modelo original, los autores hicieron una similitud entre los parches de plantas y los trait-groups expuestos por Wilson , con la finalidad de medir la relación entre los individuos de los grupos. Para ello definieron *assortment* como la desviación de la similitud genética entre los parches, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$r_a = r - r_s$$

Donde r_s es la similitud genética esperada bajo aleatoriedad, r es la observada (en la ejecución del modelo) y r_a es la similitud debida al *assortment*.

$$r_a = r - r_s = \beta(G_W, G_A) - \frac{g-1}{N-1} \quad (2)$$

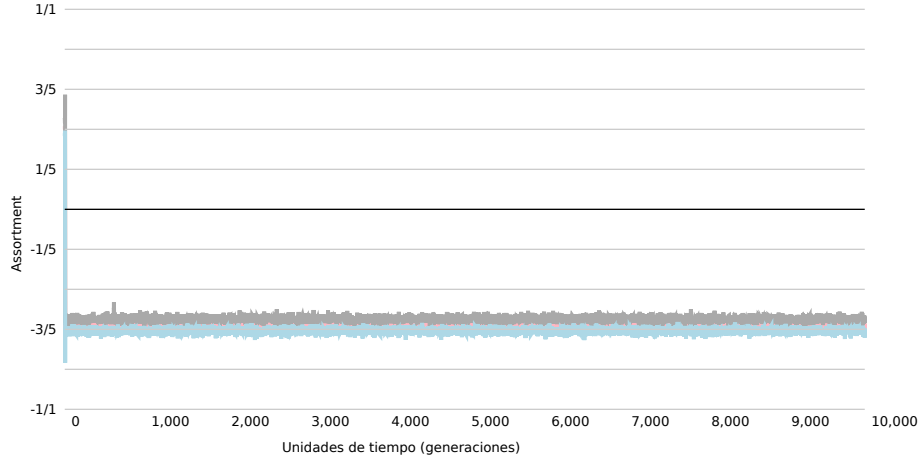
Donde β =coeficiente de regresión, G_A =Genotipo del actor y G_W =Genotipo promedio del grupo. Y g =Cantidad de grupos y N =tamaño total de la población.

Para este trabajo se utilizó la misma medida del modelo original, el coeficiente de regresión (β) es la pendiente de la recta de regresión entre G_W y G_A de acuerdo al método de mínimos cuadrados, expuesto en la equation (1).

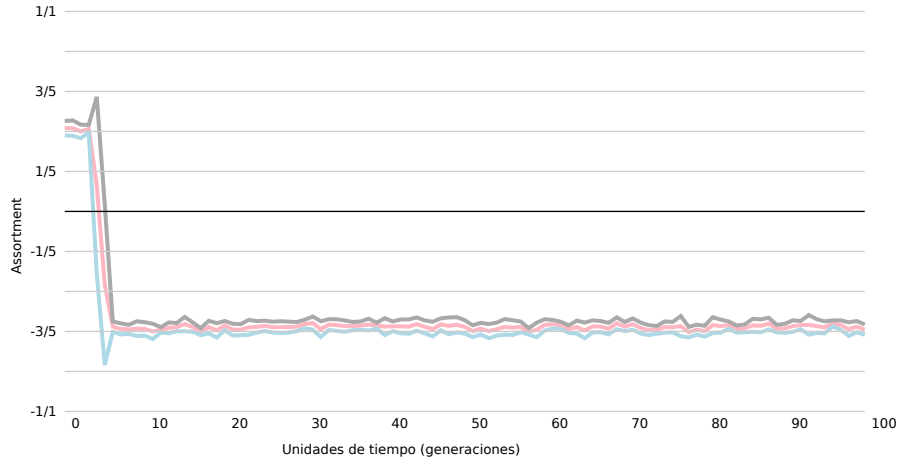
La Figura 8 muestra el análisis del assortment (similitud genética) sobre el resultado de las ejecuciones del modelo con los parámetros expuestos en la table 3:

Parameter	Value
Runs	10
Time steps per run	10000
Plants:	
Patch width (cells)	4
Gap width (cells)	10
Minimum number of plants	1000
Logistic growth rate R	0.2
Maximum size (energy)	10
Foragers:	
Total population size	80
Metabolic rate (energy units per time step)	2

Tabla 3: Parámetros bajo los que se corrieron las pruebas



(a) Análisis del assortment en las 10000 unidades de tiempo



(b) Acercamiento del análisis sobre las 100 primeras unidades de tiempo

Figura 8: Ejecución del modelo con los parámetros mostrados en la table 3. El eje x corresponde a las unidades de tiempo y el eje y corresponde a la medida del *assortment* según la equation (2)

5.2.3. Conclusiones del modelo

6. CONCLUSIONES

- La característica más importante para que un ambiente favorezca la evolución de los individuos altruistas y por tanto de los grupos, es una población espacialmente estructurada.

7. TRABAJOS FUTUROS

- Buscar otras características externas a los individuos mismos, además de la distribución de la población, que favorezcan la difusión de genes altruistas en la población.

8. REFERENCIAS

Referencias

- [1] C. Darwin, *The origin of species* /. New York :P.F. Collier,. <http://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/24252>.
- [2] R. Dawkins and J. Suárez, *El gen egoista: las bases biológicas de nuestra conducta*. Ciencia / Science, Editorial Bruño, 2000.
- [3] D. S. Wilson, “A theory of group selection.,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 72, pp. 143–146, Jan. 1975.
- [4] J. W. Pepper and B. B. Smuts, “A mechanism for the evolution of altruism among non-kin: Positive assortment through environmental feedback,” Working Papers 00-12-065, Santa Fe Institute, Dec. 2000.
- [5] M. Wall, “Introduction to genetic algorithms.”
- [6] Á. García, “Computación evolutiva, algoritmos genéticos.”
- [7] G. C. Williams, *Adaptation and natural selection : a critique of some current evolutionary thought* / George C. Williams. Princeton University Press, Princeton, N.J. :, 1974.
- [8] K. Foster, T. Wenseleers, and F. Ratnieks, “Kin selection is the key to altruism,” *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 21, pp. 57–60, Feb. 2006.
- [9] Ashleigh and S. A. West, “Kin selection: fact and fiction,” *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 17, pp. 15–21, 2002.
- [10] J. H. Park, “Persistent misunderstandings of inclusive fitness and kin selection: Their ubiquitous appearance in social psychology textbooks,” *Evolutionary Psychology*, 2007.
- [11] A. Parks, “Kin selection and inclusive fitness,” 1999.
- [12] J. Smith, E. Szathmáry, and J. Ros, *Ocho Hitos de la Evolución: Del Origen de la Vida Al Nacimiento Del Lenguaje*. Metatemas : Libros para Pensar la Ciencia Series, Tusquets Editores, 2002.
- [13] J. Garcia Gallego, “The moral herd: Groups and the evolution of altruism and cooperation,” 2011.
- [14] M. E. J. Newman, “Assortative mixing in networks,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 89, p. 208701, Oct 2002.
- [15] “Introducción al método de mínimos cuadrados,” 2010.
- [16] “Ajuste por mínimos cuadrados,” 2010.

- [17] S. T. Powers, A. S. Penn, and R. A. Watson, “Individual selection for cooperative group formation,” in *Advances in Artificial Life: Proceedings of the Ninth European Conference on Artificial Life (ECAL 2007)* (F. A. e Costa, L. M. Rocha, E. Costa, I. Harvey, and A. Coutinho, eds.), pp. 585–594, Springer, September 2007. Event Dates: 10/09/07-14/09/07.
- [18] J. Epstein, R. Axtell, and . Project, *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Complex Adaptive Systems Series, Mit Press, 1996.
- [19] D. S. Wilson, “What is wrong with absolute individual fitness?,” *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 19, no. 5, pp. 245–248, 2004. Cited By (since 1996):25.

9. ANEXOS