

**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

Ssantiago de Cali, Octubre 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 |
| 3.2. Los genes como unidad de selección | 5 |
| 3.3. Kin Selection | 5 |
| 3.4. Inclusive Fitness | 5 |
| 3.5. Selección de grupo o multinivel | 6 |
| 3.6. Positive Assortment / Negative Assortment | 6 |
| 3.7. Glosario | 6 |
| 4. ESTADO DEL ARTE | 7 |
| 4.1. A Theory of Group Selection | 7 |
| 4.2. Individual Selection for Cooperative Group Formation | 8 |
| 4.3. A Mechanism for the Evolution of Altruism among Nonkin: Positive Assortment through Environmental Feedback | 8 |
| 5. TRABAJO REALIZADO | 9 |
| 5.1. Modelo de los trait-groups | 9 |
| 5.1.1. Detalles de implementación | 10 |
| 5.1.2. Pruebas y Resultados | 11 |
| 5.1.3. Conclusiones del modelo | 17 |
| 5.2. Modelo de agentes | 18 |
| 5.2.1. Detalles de implementación | 18 |
| 5.2.2. Pruebas y Resultados | 18 |
| 5.2.3. Conclusiones del modelo | 18 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 6. CONCLUSIONES | 18 |
| 7. TRABAJOS FUTUROS | 18 |
| 8. REFERENCIAS | 18 |
| 9. ANEXOS | 19 |

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 la 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 comprobar 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.

3.2. 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 si mismas un cambio acumulativo [5]. 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-) [6, 7].

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 si mismo que produce, sino también con sus relativos, es decir aquellos que comparten uno o más genes y por lo tanto un ancestro [8, 9].

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 [10, 6]:

$$br > c$$

Donde b es el beneficio del receptor, c el costo del actor y r la relación 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 [11].

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 [4].

3.7. 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.
- Traicionero / Desertor: En este trabajo serán utilizados como sinónimos para hacer referencia a los individuos y agentes que tienen un comportamiento egoísta.

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 ($f_d > -(N-1)f_r$) y los puntos por encima de ésta son seleccionados en éste caso.

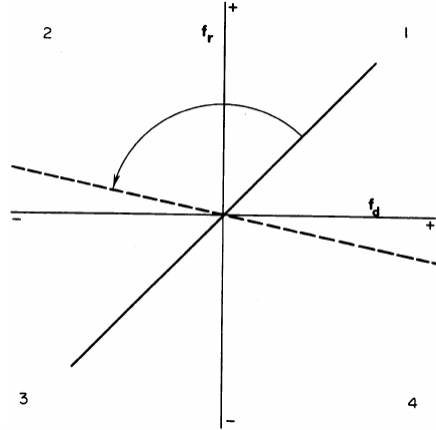


Figura 1: Puntos posibles de acuerdo al efecto de los rasgos en la aptitud del donante (f_d) y del receptor (f_r). El eje x representa la aptitud del donante, el eje y la aptitud del receptor.

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 “grupo de rasgos” y (2) la variación en la composición de los grupos. En la práctica la heterogeneidad espacial es considerada una forma de grupos 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 [12].

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 detalles de funcionamiento 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 [12]. 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 que determina si el individuo es altruista o egoísta.
- La aptitud de los cromosomas es determinada en un encuentro de depredación, por medio de la matriz de pago mostrada en la Tabla 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 |

Cuadro 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

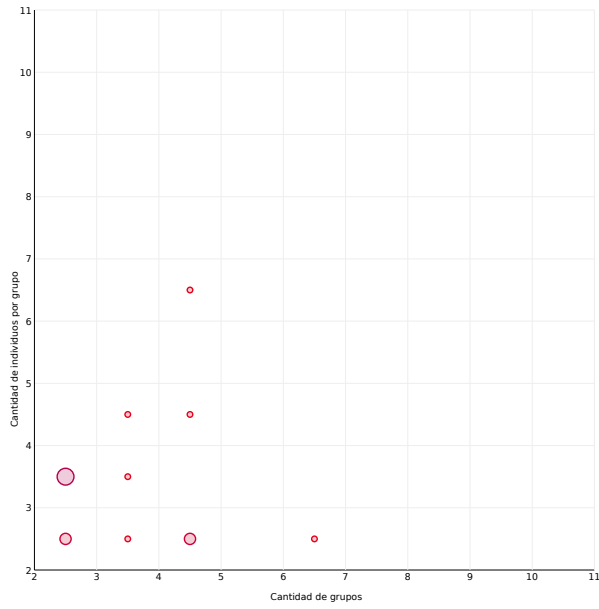
Tasa de mutación: 0 %, 1 % y 10 %

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

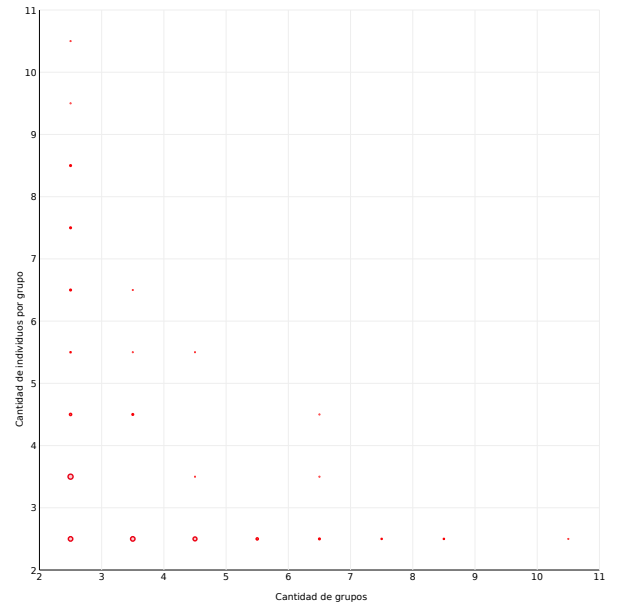
En todas las pruebas se vario la cantidad de grupos y la cantidad de individuos por grupos entre 2 y 10. Y se realizaron 10, 100 y 1000 ejecuciones del algoritmo, para contar cuantas veces cada configuración *cantidad de grupos - individuos por grupo* es exitosa, es decir, que la cantidad de individuos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

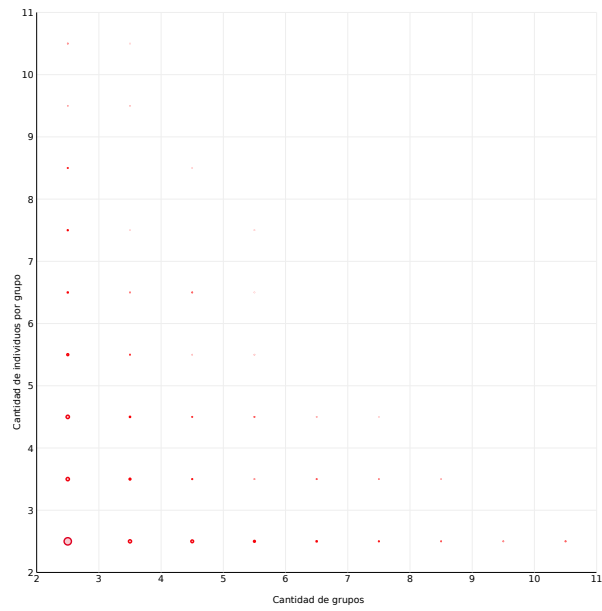
Las gráficas se muestran en grupos de tres para facilitar su comparación.



(a) 10 ejecuciones.

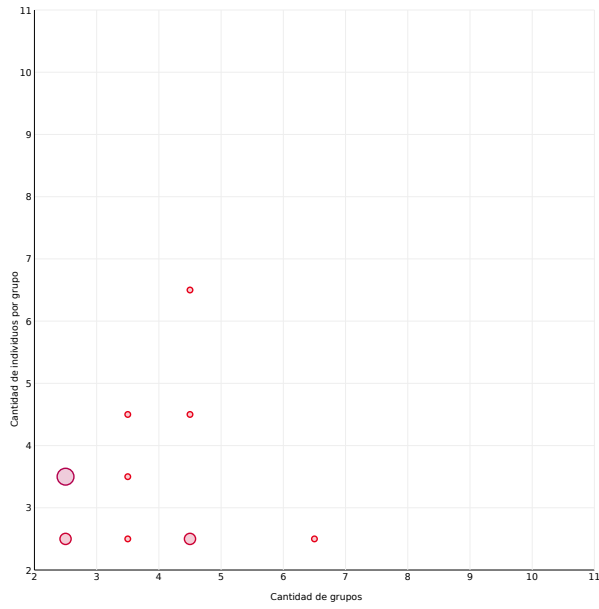


(b) 100 ejecuciones.

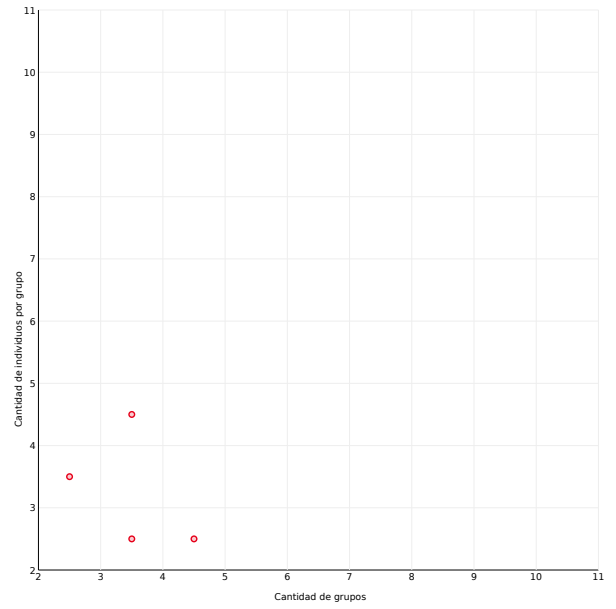


(c) 1000 ejecuciones.

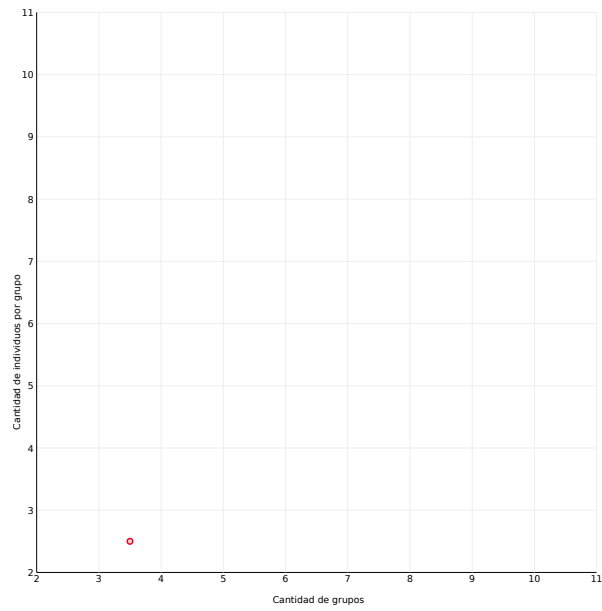
Figura 2: Pruebas con 100 generaciones, 0% tasa de mutación y matando un desertor al encuentro de dos de ellos.



(a) 0 % tasa de mutación.

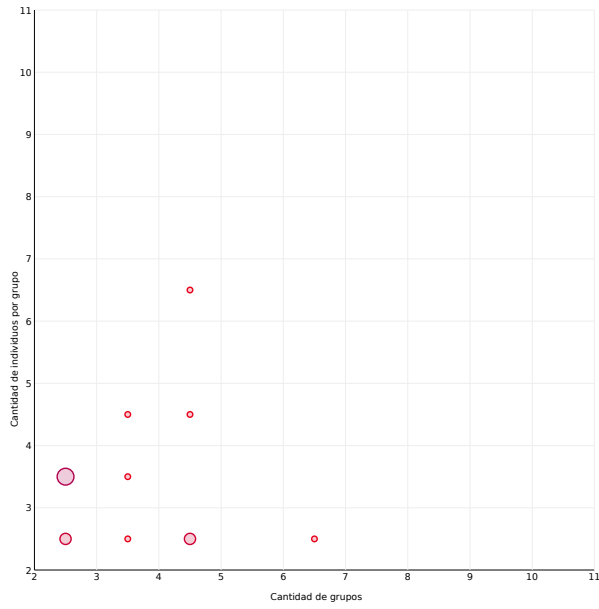


(b) 1 % tasa de mutación.

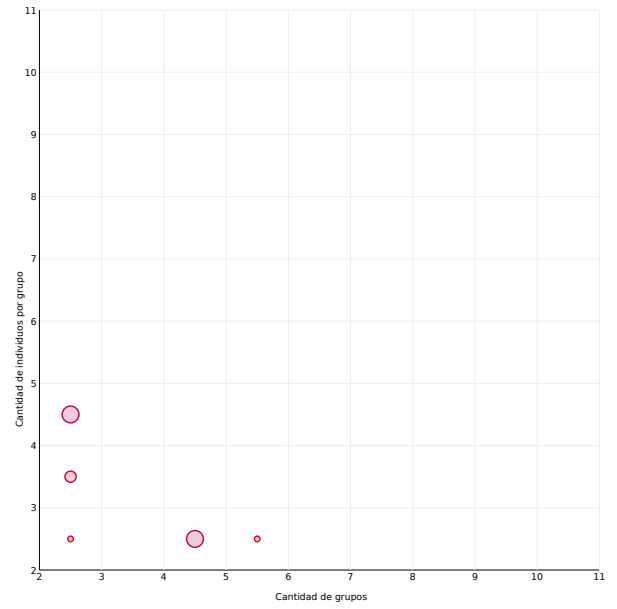


(c) 10 % tasa de mutación.

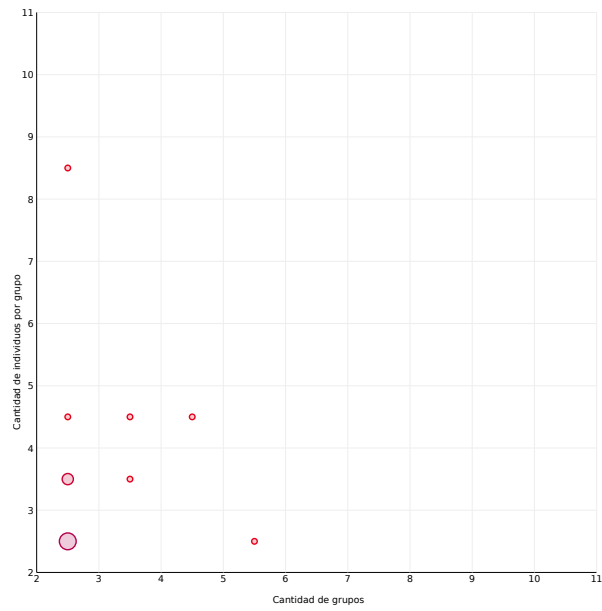
Figura 3: Pruebas con 100 generaciones, 10 ejecuciones y matando un desertor al encuentro de dos de ellos.



(a) 100 generaciones.

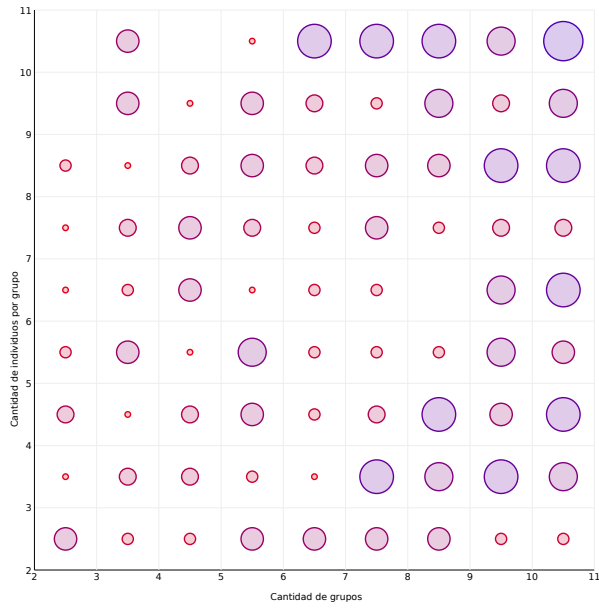


(b) 1000 generaciones.

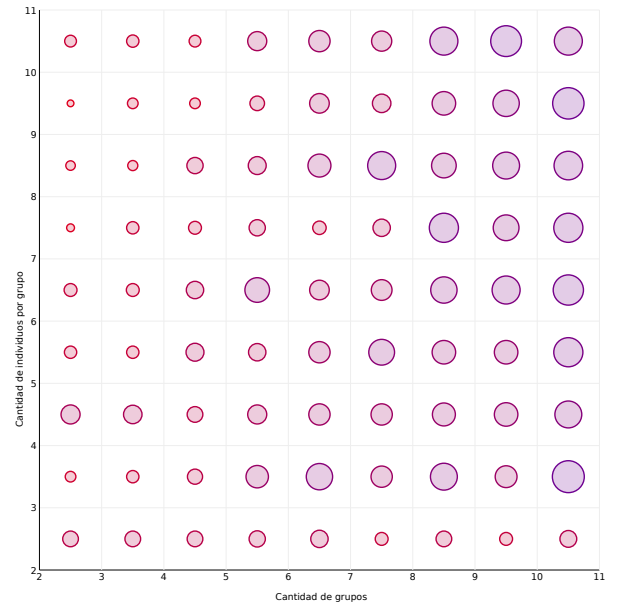


(c) 10000 generaciones.

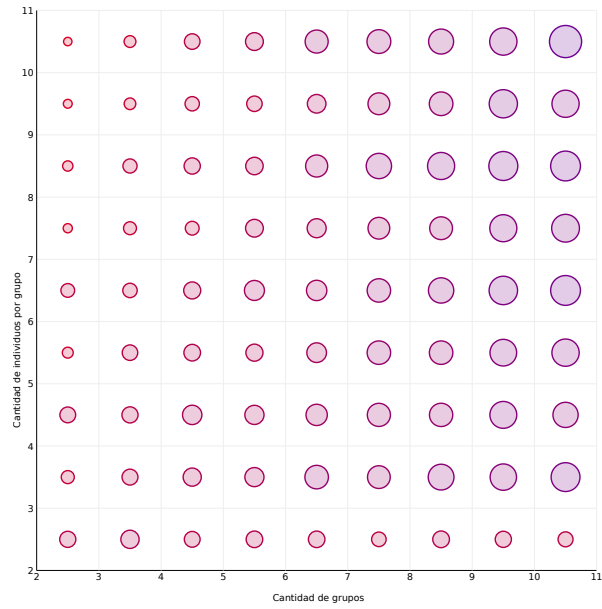
Figura 4: Pruebas con 10 ejecuciones, 0% tasa de mutación y matando un desertor al encuentro de dos de ellos.



(a) 10 ejecuciones.

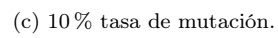
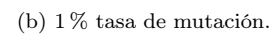
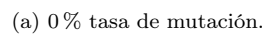


(b) 100 ejecuciones.

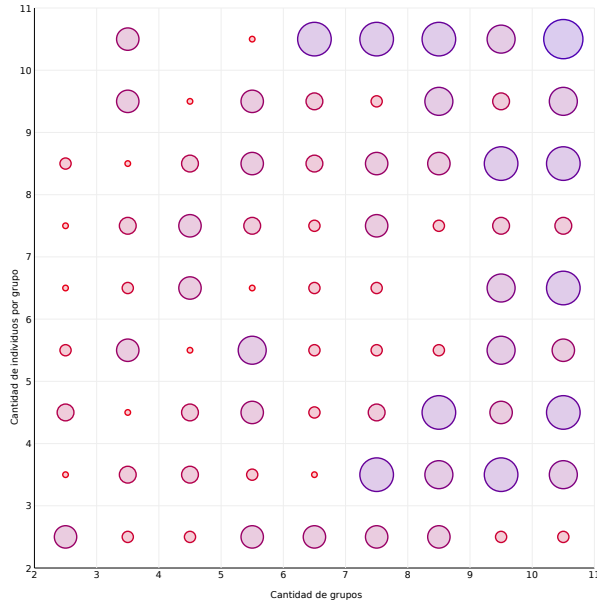


(c) 1000 ejecuciones.

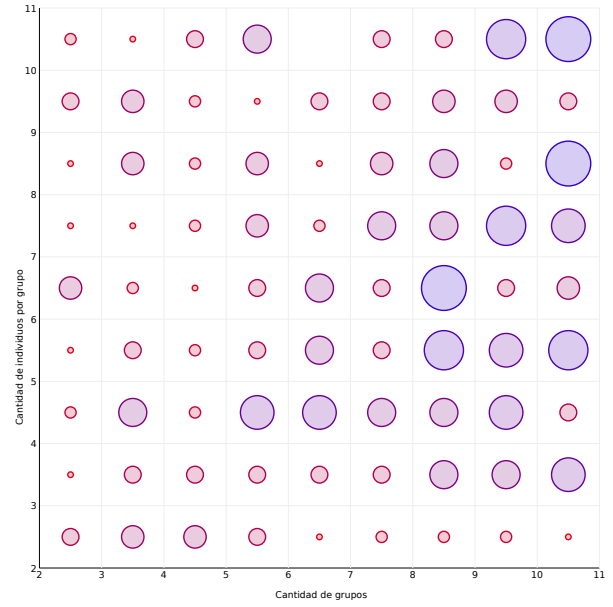
Figura 5: Pruebas con 100 generaciones, 0 % tasa de mutación y matando los dos desertores al encuentro de dos de ellos.



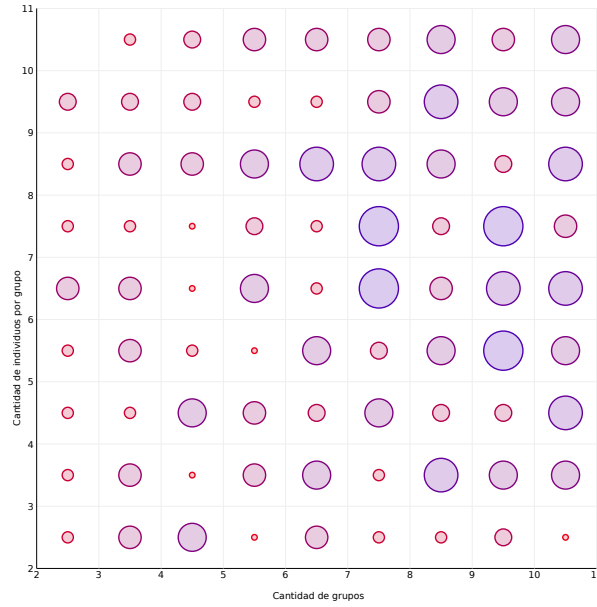
16



(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 en el cambio de 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 muestran el mismo patrón, mostrando en ellos que los casos exitosos ocurren más cuando la población es pequeña y principalmente hacia los 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.
- Bajo la condición de matar solo un desertor al encuentro de dos de ellos, 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.
- Bajo la condición de matar los dos desertores al encuentro de dos de ellos, el modelo arroja resultados de forma mucho más similar en todos los casos, independientemente de la variación de los otros parámetros.

5.2. Modelo de agentes

5.2.1. Detalles de implementación

5.2.2. Pruebas y Resultados

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

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 egoísta: 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] G. C. Williams, *Adaptation and natural selection : a critique of some current evolutionary thought* / George C. Williams. Princeton University Press, Princeton, N.J. :, 1974.
- [6] 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.
- [7] Ashleigh and S. A. West, “Kin selection: fact and fiction,” *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 17, pp. 15–21, 2002.
- [8] J. H. Park, “Persistent misunderstandings of inclusive fitness and kin selection: Their ubiquitous appearance in social psychology textbooks,” *Evolutionary Psychology*, 2007.
- [9] A. Parks, “Kin selection and inclusive fitness,” 1999.
- [10] 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.
- [11] J. Garcia Gallego, “The moral herd: Groups and the evolution of altruism and cooperation,” 2011.
- [12] 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.

9. ANEXOS