



---

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Modelación y simulación computacional basada en  
Agentes

Práctica 2. Implementación y análisis de modelos basados en  
agentes

Martínez Hidalgo Paola Mildred  
2025-2

---



## 1. Modelo de segregación de Schelling

El modelo propuesto originalmente por Thomas Schelling<sup>1</sup> consiste en dos grupos de agentes, por ejemplo, rojos y verdes, que localmente tratan de satisfacer la necesidad de estar con los de su mismo grupo. De manera general este comportamiento es establecido con un parámetro conocido como porcentaje de similitud requerida o nivel de tolerancia.

Los agentes toman una decisión a partir de la información que tienen en su vecindad. Si el agente satisface las condiciones del entorno entonces se queda en su posición actual, de lo contrario, se mueve a una posición vacía. Esta dinámica local genera como resultado la formación de cúmulos de agentes del mismo tipo, es decir, hay segregación.

**Definición del sistema (entorno):** el sistema se compone de una retícula de  $n \times n$  donde  $n$  se establece usualmente entre 50 y 100.

Cada celda con posición  $(i,j)$  alberga a un agente rojo o verde. El sistema tiene un parámetro de densidad poblacional, usualmente se establece en 90 % (es decir, 10 % de las celdas quedan vacías). La mitad de la población se inicializa como rojos y la otra como verdes.

Cada agente toma una celda de manera aleatoria.

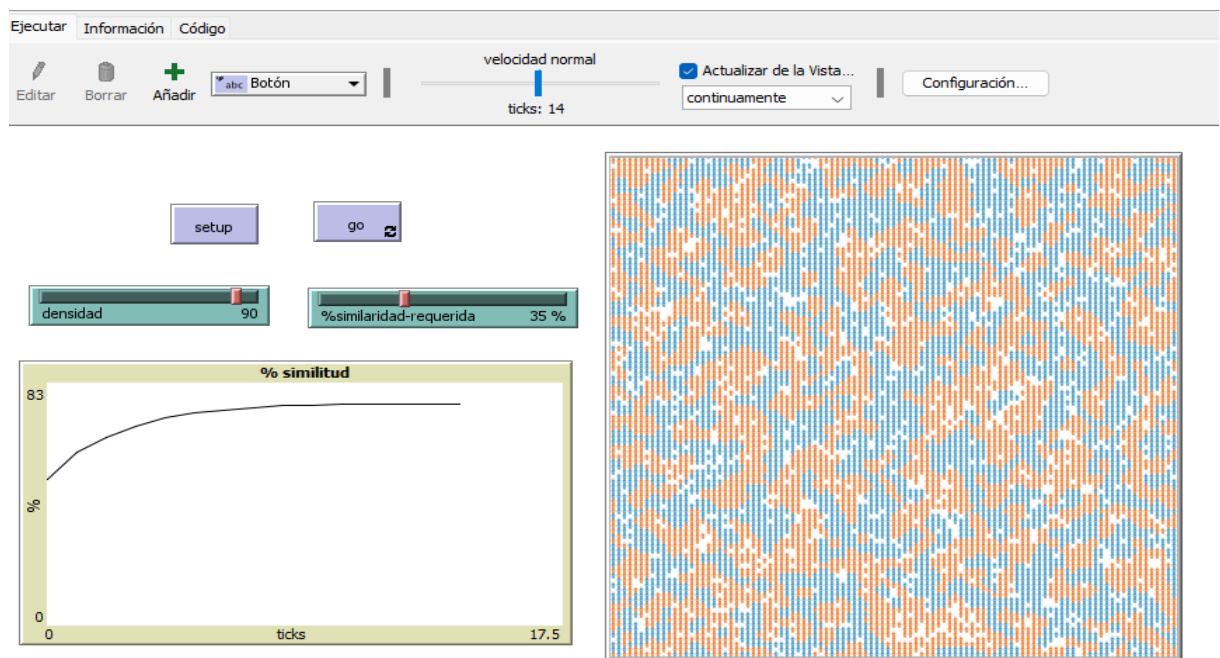
**Dinámica (reglas):** cada agente en la posición  $(i,j)$  se "muda" a un lugar vacío si en su vecindad de Moore (8-vecinos) no cumple con el porcentaje de similitud requerida.

### Ejercicios:

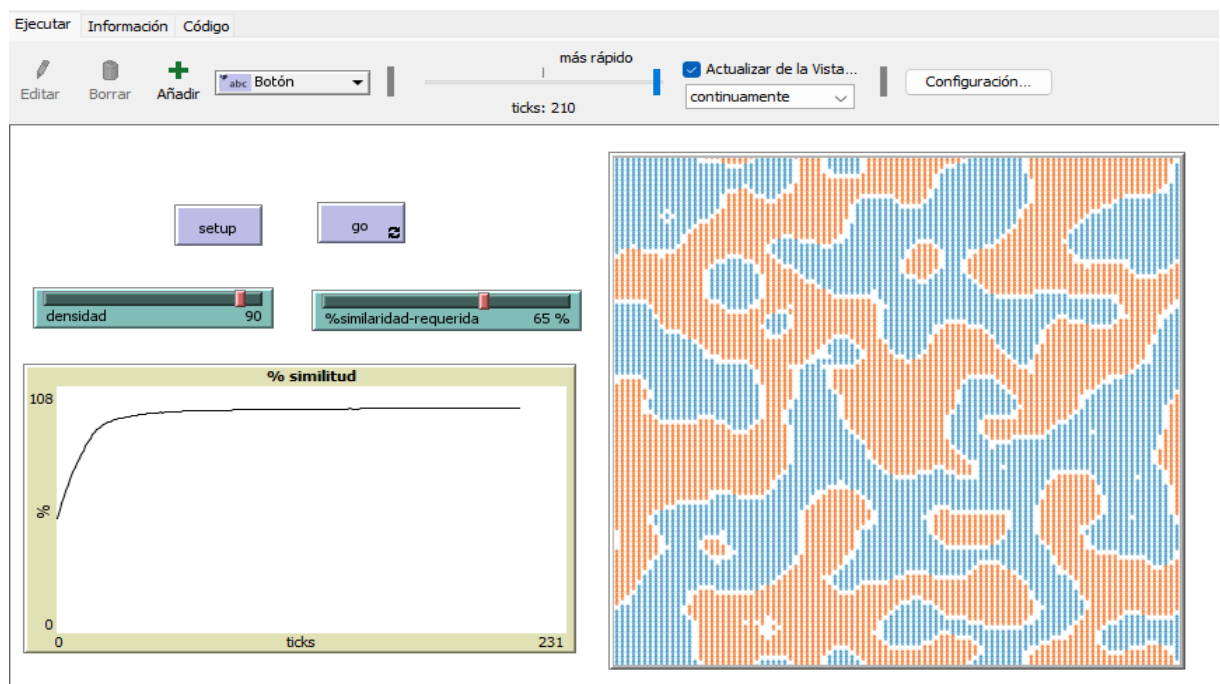
1. Establezca el tamaño de retícula como  $n = 50$ , con densidad poblacional del 90 %. ¿Qué valor del parámetro de similitud es el límite máximo para formar dinámicas de segregación? A este valor le llamaremos  $S_{max}$ . Si incrementamos el valor de  $S_{max}$  ¿cuál es la nueva dinámica? Explique y adjunte capturas de pantalla. (1pt)

Para esto probaremos con varios valores de similitud.

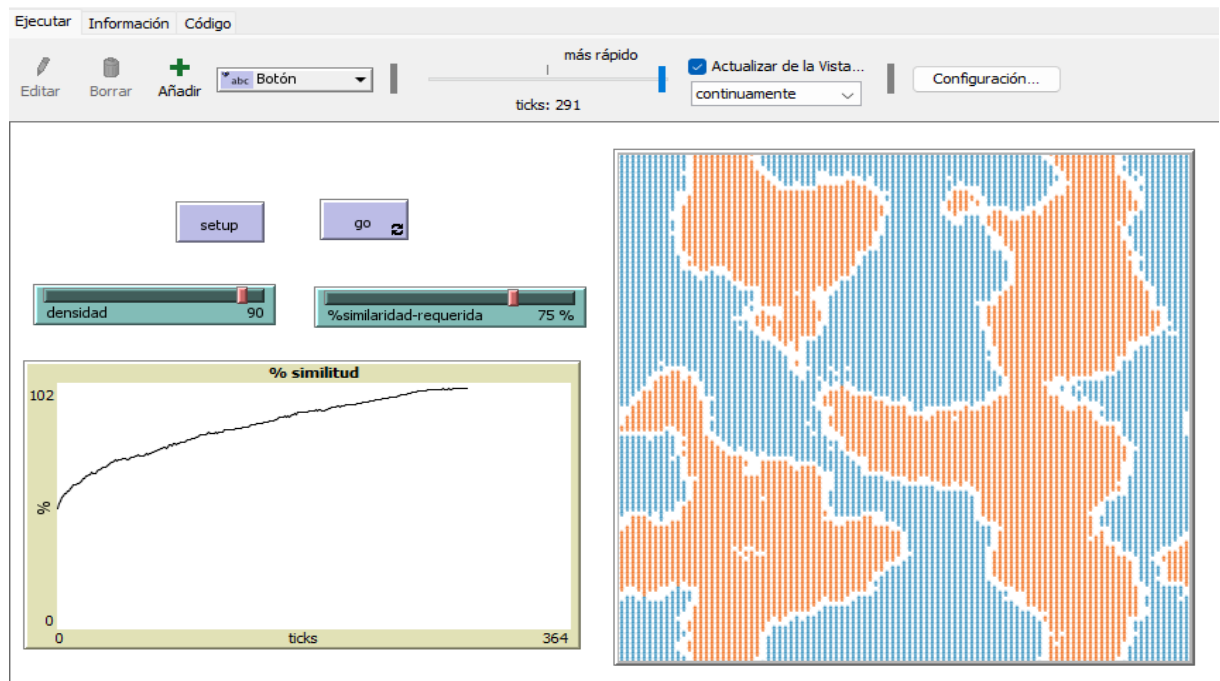
- Empecemos con valores bajos, en este caso con un 35 %, podemos observar que la segregación ocurre rápidamente, en este caso en un total de 14 ticks, y esta es baja ya que no es muy notable.



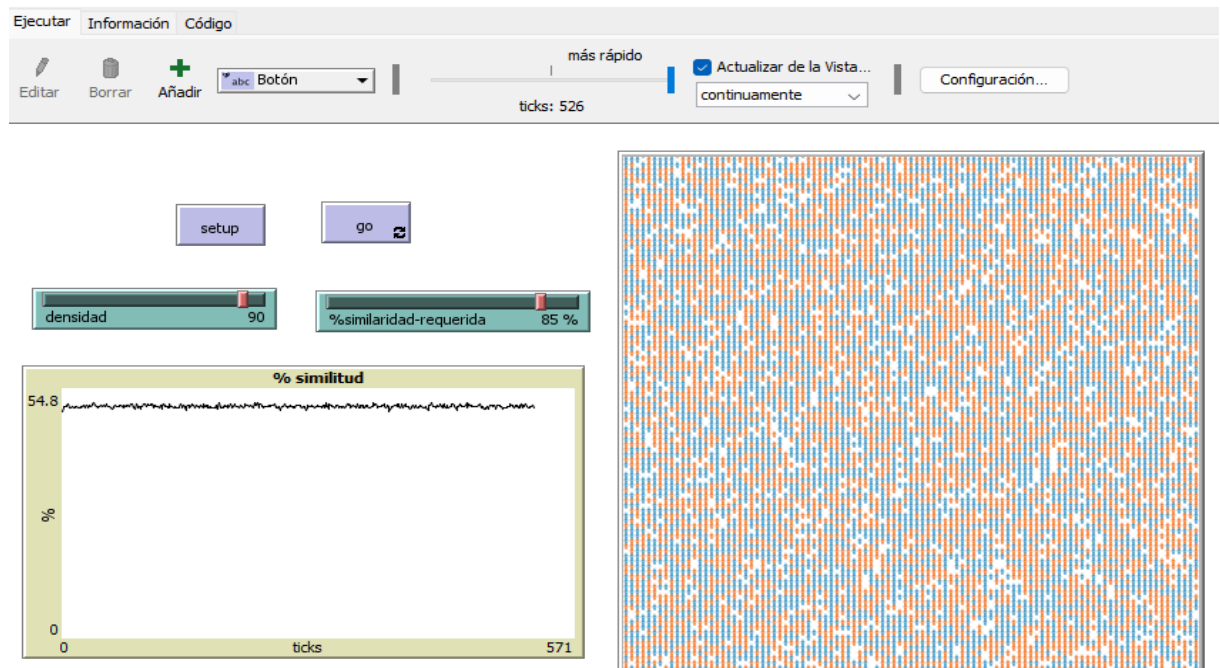
- Aumentemos el parámetro de similitud a 65%, podemos observar que la segregación tarda más en ocurrir, en este caso tardó un total de 210 ticks, y es más visible que en el caso anterior.



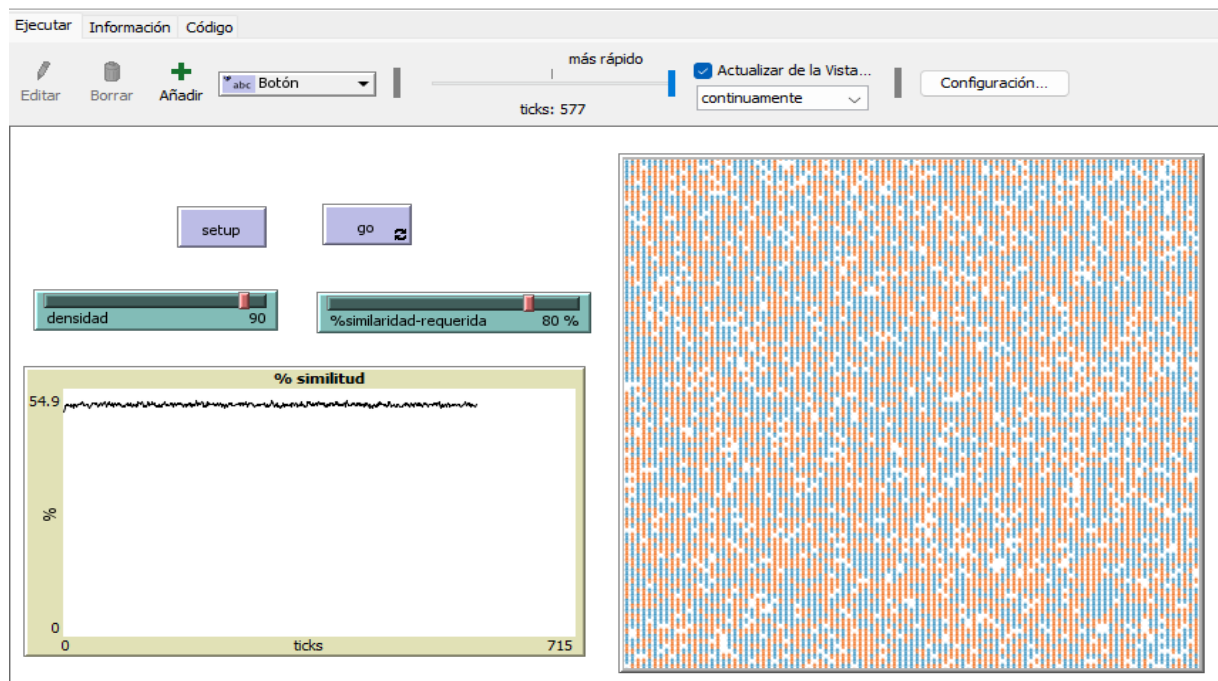
- Aumentemos el parámetro de similitud a **75 %**, podemos observar que la segregación tarda más en ocurrir, y es fuerte ya que es más visible, en este caso tardó un total de 291 ticks.



- Aumentemos el parámetro de similitud a **85 %**, podemos observar que no ocurre la segregación y a pesar de que ya llevamos más de 500 ticks aún se pueden observar muchos agentes insatisfechos.



- Disminuyamos el parámetro de similitud a 80%, podemos observar que de igual forma no ocurre la segregación y a pesar de que ya llevamos 577 ticks aún se pueden observar muchos agentes insatisfechos.



Con lo anterior podemos ver que el valor máximo que puede tomar el parámetro de similitud es de 75, en este caso lo dejaremos en 70.

Con lo anterior podemos decir que el valor máximo que puede tomar el parámetro de similitud y al que llamaremos **Smax**, es de  $S_{max} = 70\%$ .

- Una propuesta de medida para detectar convergencia es cuando los agentes ya no cambian de posición. Cuando el parámetro de similitud es igual a Smax, ¿cuál es el tiempo en el que el sistema converge? Realice una gráfica parámetro-similitud vs tiempo-de-convergencia. ¿Cómo crece el tiempo de convergencia en función del parámetro de similitud? ¿lineal, logarítmico, exponencial? Cuando no converja el sistema (probar un tiempo suficientemente grande) dejar de graficar. (1pt).

Hint. Para realizar esta gráfica, puede ayudarse de la herramienta “analizador de comportamiento” en NetLogo. Ver video “Criticalidad autoorganizada: incendios forestales”

Para esto usamos la herramienta “analizador de comportamiento”, modificamos un poco el código específicamente en las variables globales, setup, go y en el test agregamos **porcentaje-similar** el cual mide el grado de segregación.

Después de modificar el código realizamos el test, una vez que lo ejecutamos nos da lo siguiente en el csv:

BehaviorSpace results (NetLogo 6.2.0)									
ModeloSegregacionSchelling.nlogo									
experimento_test									
04/02/2025 21:16:44:643 -0600									
min-pxcor	max-pxcor	min-pycor	max-pycor						
-50	50	-50	50						
[run number]	%similaridad-	densidad	detener?	[step]	ticks	convergencia?	porcentaje-similar	mean [%similaridad-requerida]	of turtles
1	30	90	ticks > 1000 or convergencia?	16	16	true	74.06628407	30	
2	35	90	ticks > 1000 or convergencia?	21	21	true	76.76703357	35	
3	40	90	ticks > 1000 or convergencia?	24	24	true	82.19648348	40	
4	45	90	ticks > 1000 or convergencia?	30	30	true	86.84186706	45	
5	50	90	ticks > 1000 or convergencia?	26	26	true	86.0673547	50	
6	55	90	ticks > 1000 or convergencia?	100	100	true	94.23247823	55	
7	60	90	ticks > 1000 or convergencia?	189	189	true	97.89840788	60	
8	65	90	ticks > 1000 or convergencia?	197	197	true	98.24039063	65	
9	70	90	ticks > 1000 or convergencia?	416	416	true	99.70038107	70	

Para hacer la gráfica tomamos para **x** a *%similaridad – requerida* y como **y** a **ticks**, el cual es el total de ticks en el que se llegó a la convergencia, por lo que tenemos la siguiente gráfica:



Una vez que tenemos la información anterior podemos decir que el tiempo en que el sistema converge es a lo mucho 416 ticks. Por otra parte al observar la gráfica podemos ver que tiene un crecimiento exponencial.

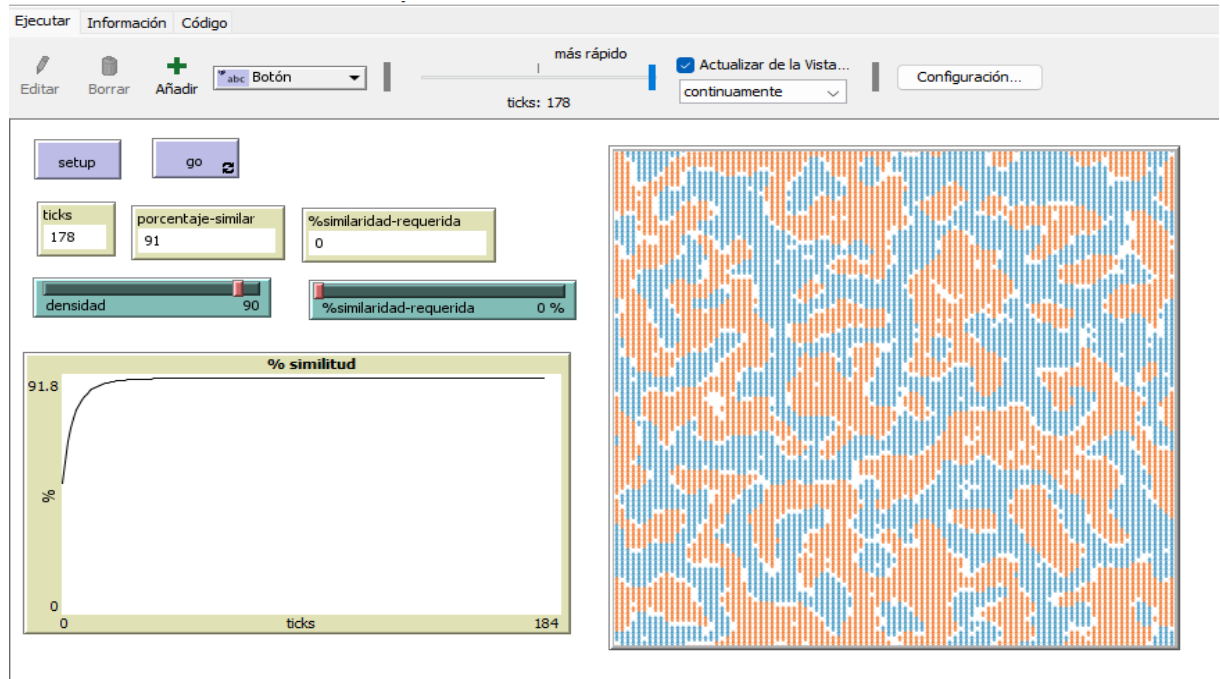
Igual se hizo con un valor de similitud que sobrepasara  $S_{max}$ , en este caso con 90, y el test no se completó, llevaba aproximadamente 15 min y la prueba aún no terminaba, por lo que podemos decir que en valores que sobrepasan a  $S_{max}$  no se logra la convergencia.

3. **Extensión del modelo.** Establezca el parámetro de similitud para cada uno de los agentes, es decir como un atributo del agente. Inicialice la similitud requerida del agente  $i$ -ésimo a partir de una distribución normal con media 50 y desviación estándar 10. A) ¿Cómo cambian los patrones de segregación? Explique. B) ¿Qué sucede cuando la media =  $S_{max}$  y la desviación estándar es pequeña o grande? Explique. (1pt).



A) ¿Cómo cambian los patrones de segregación?

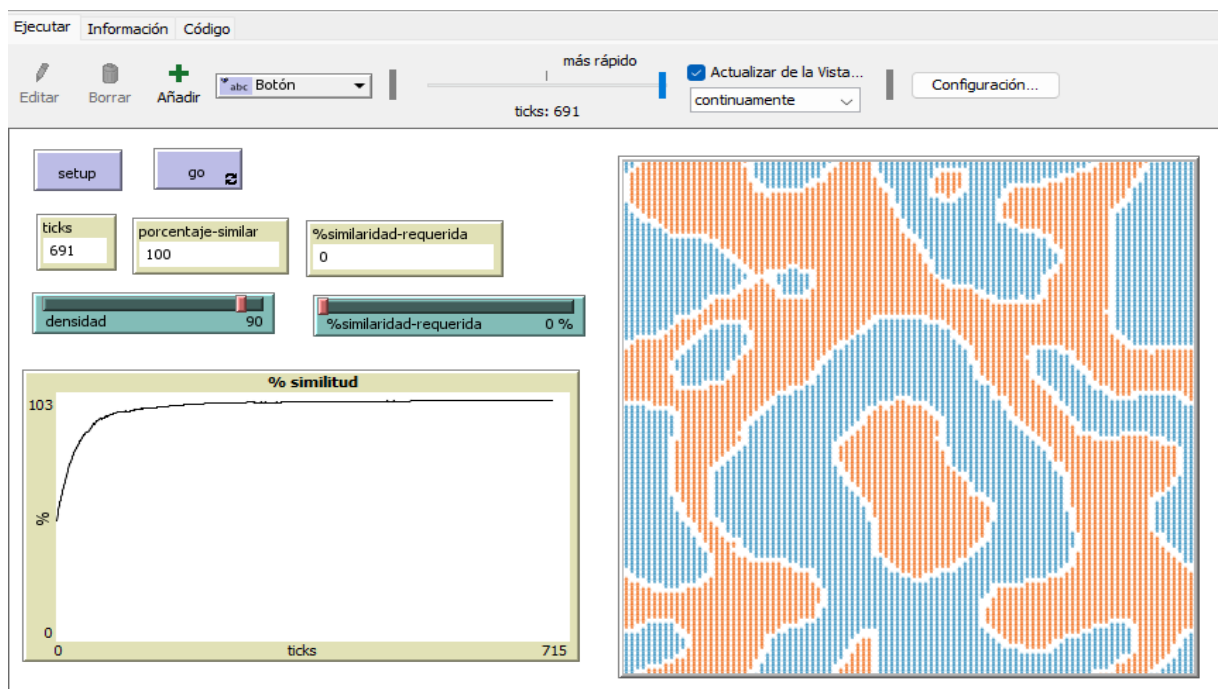
Podemos ver que con una media de 50 y desviación estándar 10 se puede observar segregación, en la imagen podemos ver grupos que no están tan definidos y también que todos estos grupos están más dispersos. Comparado al modelo antes de la extensión podemos ver que en este caso es parecido a cuando teníamos una similitud requerida entre 35 y 45.



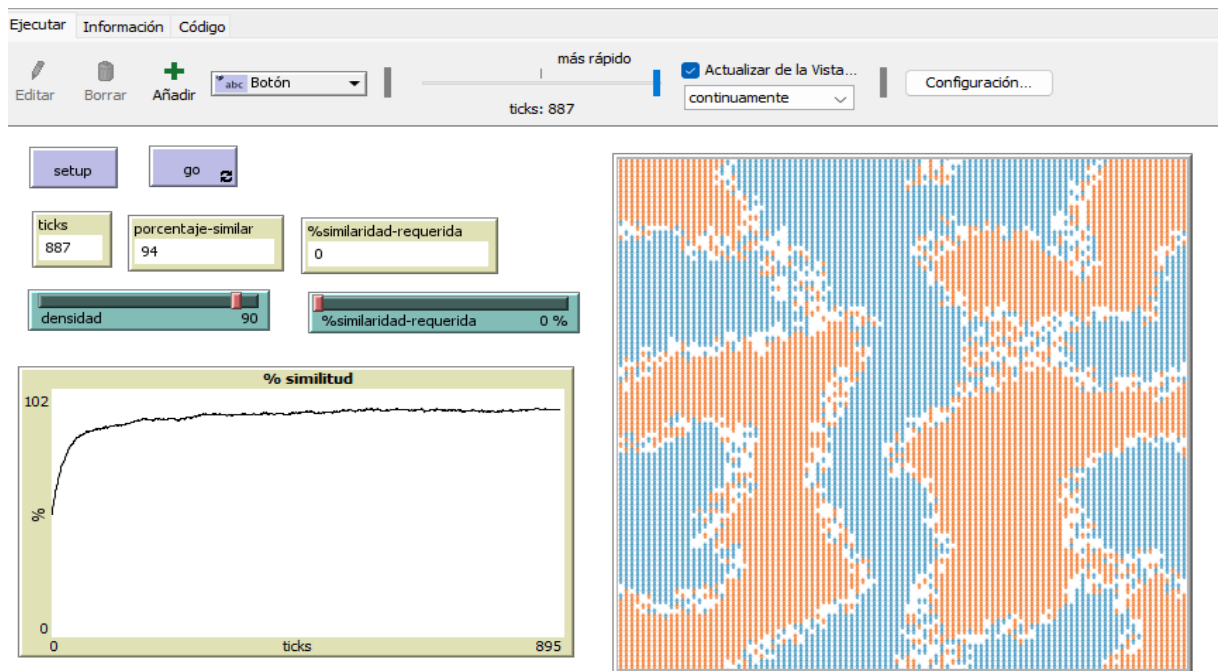
B) ¿Qué sucede cuando la media = Smax y la desviación estándar es pequeña o grande?

Para esto tomaremos varios valores, recordemos que el valor de **Smax = 70**.

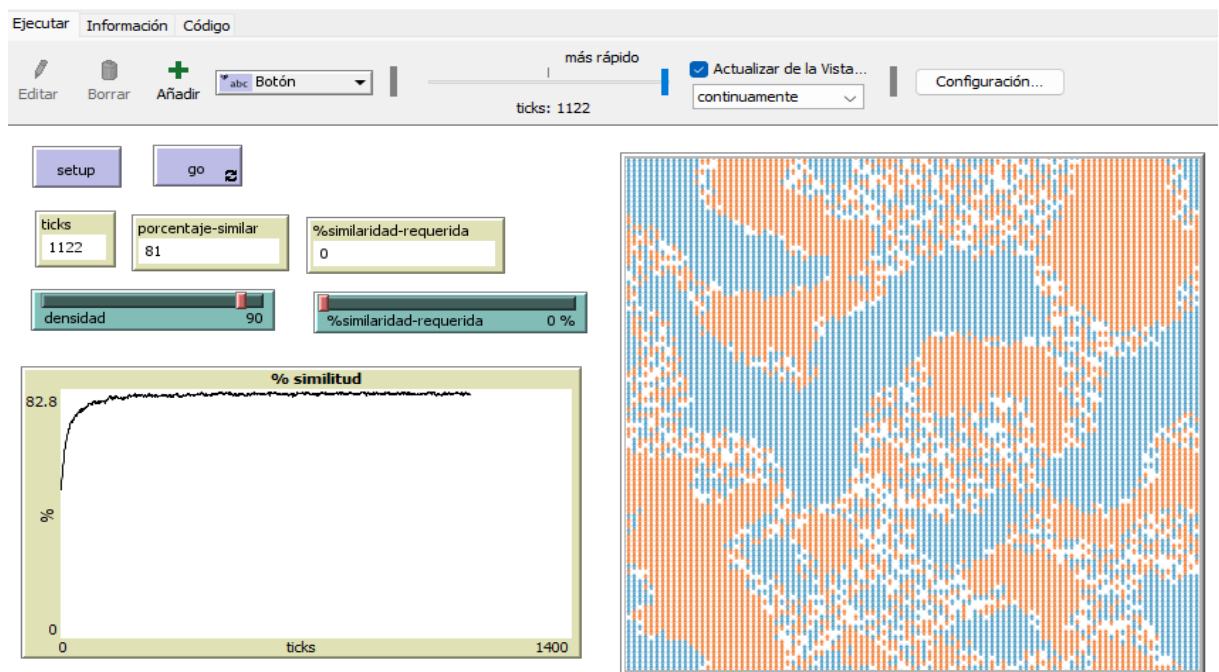
Los primeros valores que tomaremos serán **media = 70** y **desviación-estándar = 5**. En la imagen podemos ver que hay segregación fuerte y no se hacen tantos grupos.



Ahora los valores que tomaremos serán **media = 70** y **desviación-estándar = 10**. Podemos ver que igual se presenta segregación, pero un poco más débil, por otra parte podemos ver que se forman más grupos y que hay agentes que incluso quedan aislados.



Ahora los valores que tomaremos serán **media = 70** y **desviación-estándar = 20**. En este caso podemos ver que hay agentes que nunca quedan satisfechos a pesar de que ya llevaba 1122 ticks, por otra parte hay algunas zonas muy segregadas y otras caóticas y debido a que hay agentes que no estarán satisfechos no puede llegar a converger.



En conclusión cuando la media se acerca a  $S_{max}$ , los agentes en promedio son más exigentes, lo que aumenta la segregación. Si la desviación estándar es pequeña, los agentes son parecidos entre sí y la segregación es más clara. En cambio, si la desviación es grande, el comportamiento se vuelve más heterogéneo, aparecen zonas muy segregadas y otras más caóticas, y la convergencia puede no lograrse.

4. Modifique su programa previo para considerar tres tipos de agentes (rojos, verdes y azules). Inicialice cada grupo como  $\frac{1}{3}$  de la población y establezca de manera global el parámetro de similitud-requerida. A) ¿Se forman patrones de segregación? B) ¿Cuál es el valor del umbral  $S_{max}$ ? Adjunte capturas de pantalla y explique la dinámica (1pt)

A) ¿Se forman patrones de segregación?

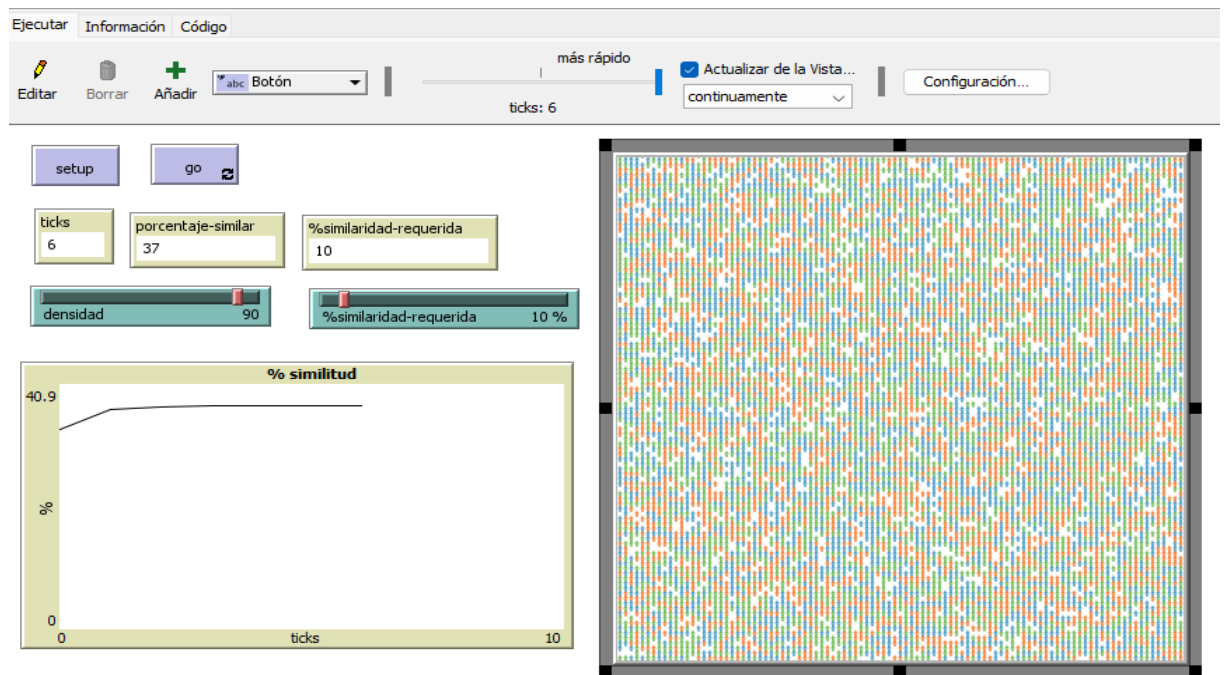
Si, al modificar el código y tener ahora tres agentes (verdes, azules y naranjas) igual se presenta segregación.

B) ¿Cuál es el valor del umbral  $S_{max}$ ?

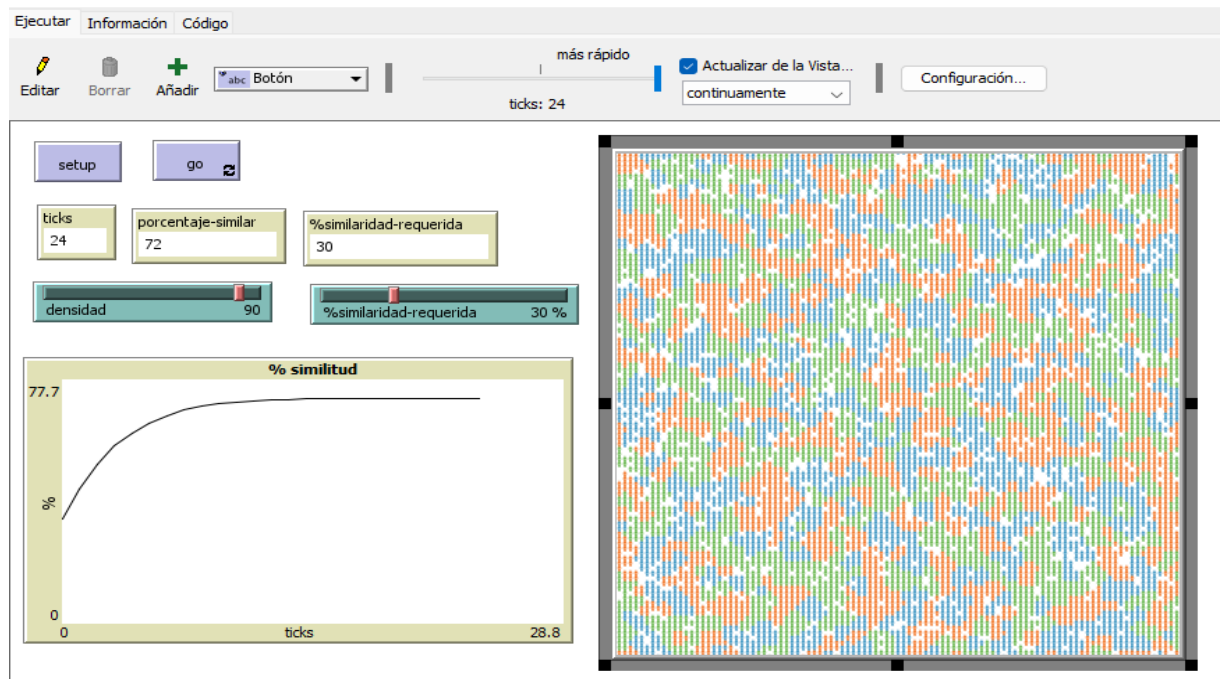
Para contestar esto probaremos con diferentes valores de similitud:

- Empezaremos con valores bajos, en este caso con un 10 %, podemos observar que no se logra ver una segregación fuerte, ya que ahora al contar con un grupo extra, es más difícil hacer que todos los agentes estén satisfechos, esto lo podemos ver en el porcentaje-similar, ya que este solo tiene el 37 %.

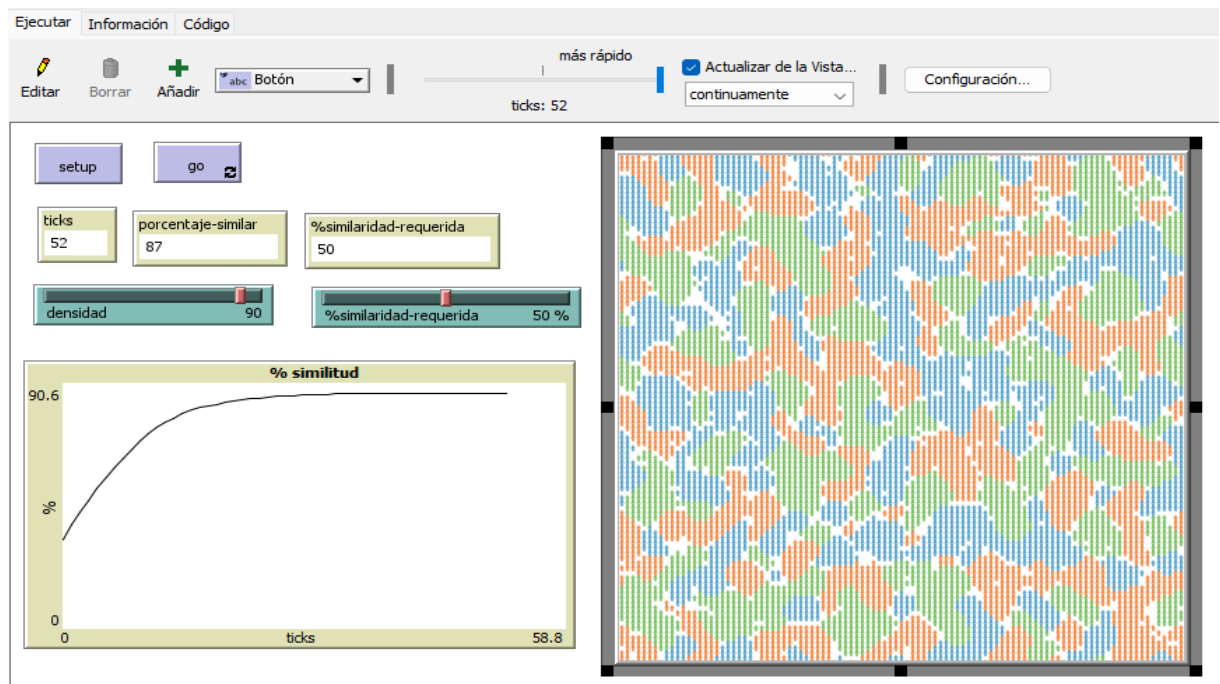




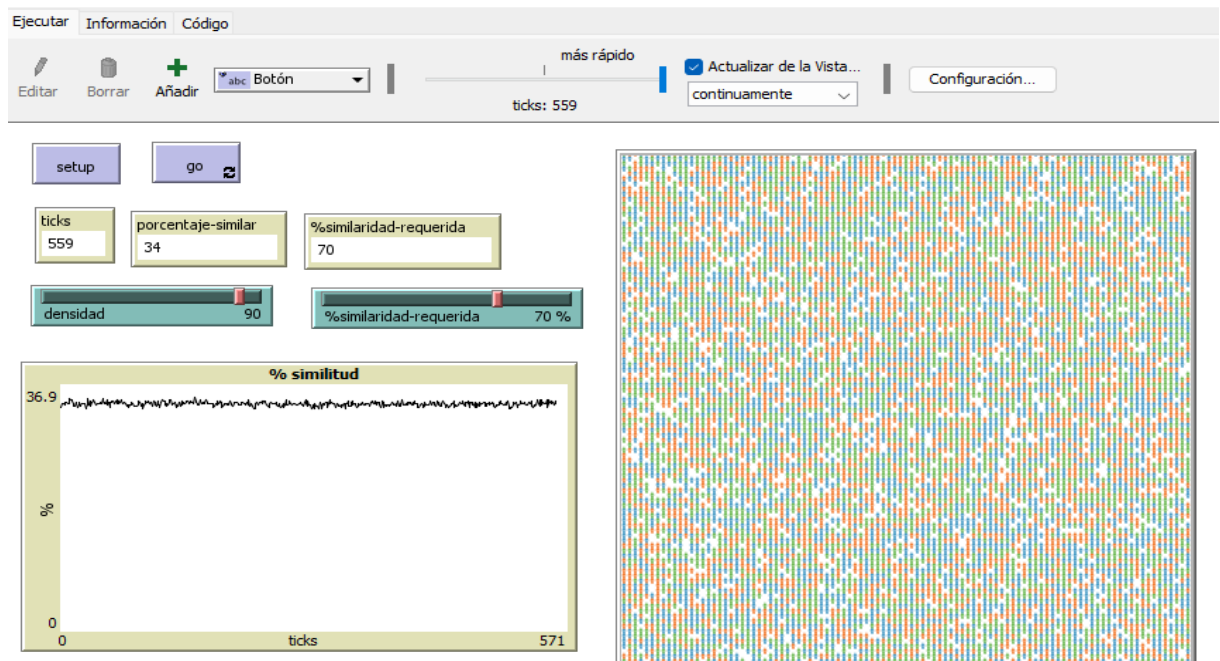
- Aumentemos el parámetro de similitud a **30 %**, en este caso podemos apreciar mejor la segregación entre cada grupo, a comparación del caso anterior es más fuerte y el porcentaje-similar por ende igual aumenta.



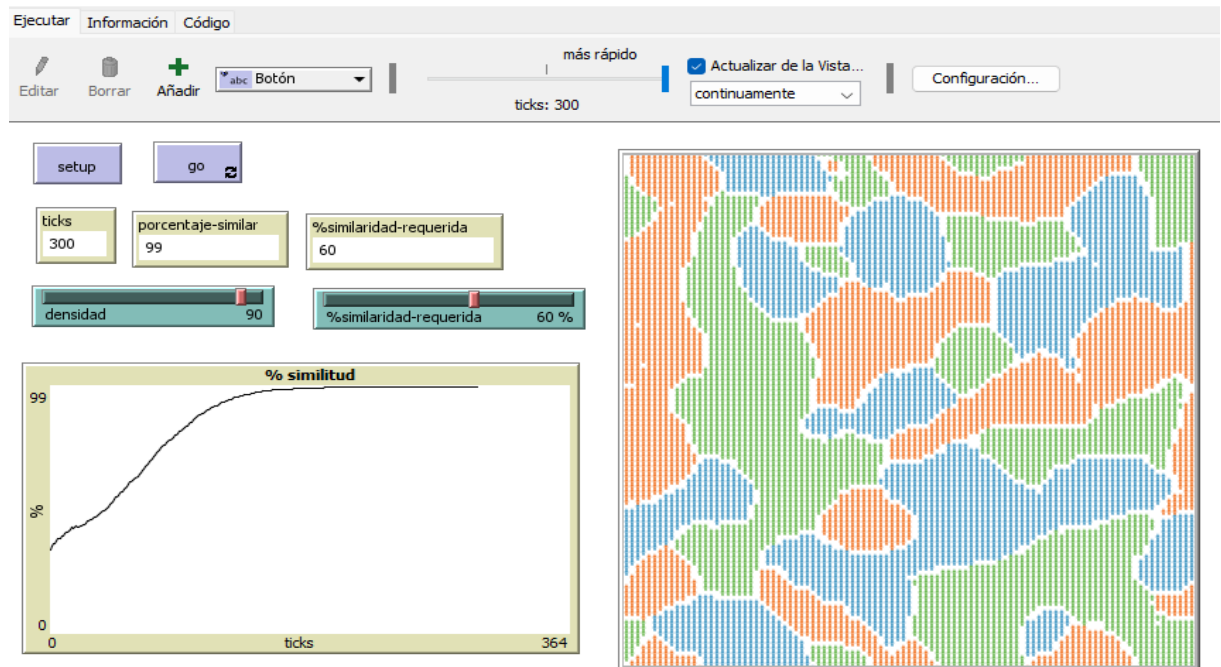
- Aumentemos el parámetro de similitud a **50 %**, en este caso se presenta una segregación mas fuerte a comparación del caso anterior, y por ende hay más agentes satisfechos.



- Aumentemos el parámetro de similitud a **70 %**, en este caso no llegamos a la segregación debido a que la similitud requerida es alta y como ahora tenemos tres grupos es más difícil hacer que todos los agentes estén satisfechos, a pesar de que ya llevaba 559 ticks no lograba llegar a la segregación, por lo tanto Smax debe de ser menor a 70.



- Ahora probaremos con un parámetro de similitud más bajo, en este caso con **60 %**, podemos ver que la segregación es fuerte y se logran ver más claro cada uno de los grupos, por lo que este valor será nuestro  $S_{max}$ . Por lo tanto el valor de  $S_{max}$  al tener tres grupos es  **$S_{max} = 60 \%$** .



5. Bajo su criterio que otros elementos de modelación se podrían definir en el modelo de Schelling para hacerlo más realista. Explique. ¿Qué otros análisis podrían implementar para explicar las dinámicas?

Para hacer más realista el modelo de Schelling se podrían agregar diferentes restricciones que influyen en la decisión de las personas en la vida real, por ejemplo restricciones físicas, económicas, un flujo de entrada y salida, definir zonas que no pueden ser habitables, como lo pueden ser parques, museos, escuelas, etc.

Otros análisis que se podrían implementar podrían ser cuántos agentes se mueven por tick, cuántos quedan siempre insatisfechos, cuántos agentes conforman el grupo más pequeño y el más grande, hacer gráficas de como afecta el subir o bajar la similitud requerida, etc.

## 2. Termitas apiladoras

Este modelo fue propuesto por Mitchel Resnick<sup>2</sup> como una estrategia descentralizada para apilar astillas de madera (objetos) a través de simples reglas ejecutadas por termitas (agentes).

**Definición del sistema (entorno):** el sistema se compone de una retícula de  $n \times n$  donde  $n = 100$ . Cada celda con posición  $(i, j)$  alberga una astilla de madera (color amarillo). El sistema tiene un parámetro de número de termitas y densidad de astillas.

**Dinámica (reglas):** Las termitas tienen dos reglas básicas.

A) Si la termita no está cargando nada y se encuentra una astilla de madera, la recoge y sigue su camino.

B) Si está cargando una astilla de madera y se encuentra otra, suelta la astilla y continua su camino.

El movimiento de la termita asemeja a un caminador aleatorio con una apertura de visión de -50 a 50 grados.

### Ejercicios:

1. Implemente el modelo de termitas apiladoras, pueden usar el código visto en clase o lo pueden programar en otro lenguaje de programación (1pt).

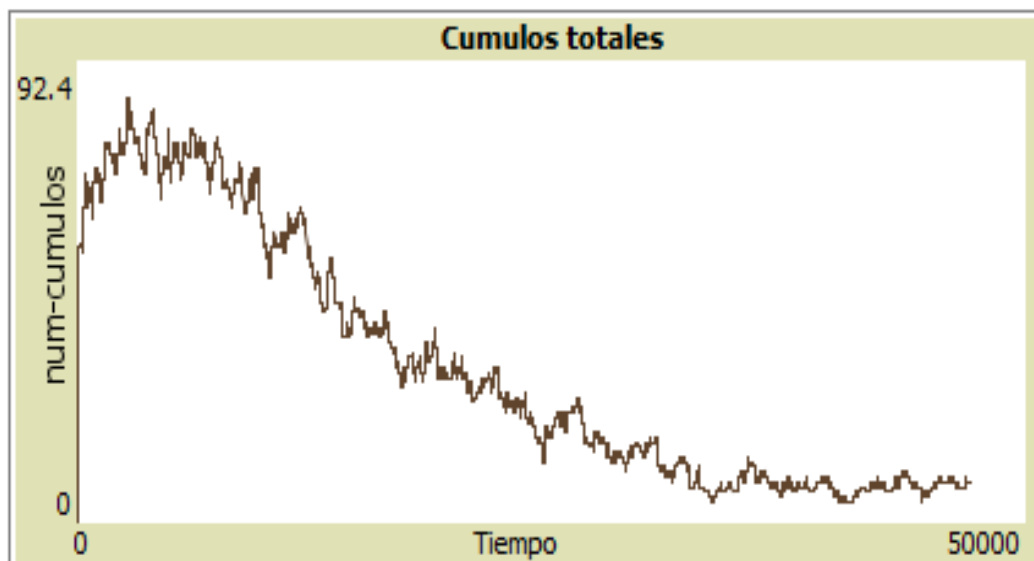
2. Implemente dos gráficas donde se observe el comportamiento del sistema en función del tiempo, a) el número de cúmulos en función del tiempo, y b) el número de termitas que están cargando astillas. (1pt).

a) El número de cúmulos en función del tiempo: Para esto definimos una variable global llamada num-cumulos, lo que hace es que va enumerando el número de cúmulos cada 20 ticks, esto debido a que si se hacía por cada tick el programa era muy ineficiente y lento. En este caso definimos que un cúmulo debe tener mínimo 10 astillas para ser contado. Igual tomemos en cuenta que al no tener bordes la retícula si se encuentran dos cúmulos a las orillas, estos podrían ser sólo uno, veamos un ejemplo:

En este caso a pesar de que pareciera que hay 3 cúmulos, es uno mismo.



Finalmente este es un ejemplo del comportamiento de la gráfica, como el contador empieza en 0 es por eso que empieza a crecer, una vez que llega al máximo, empiezan a disminuir los cúmulos.



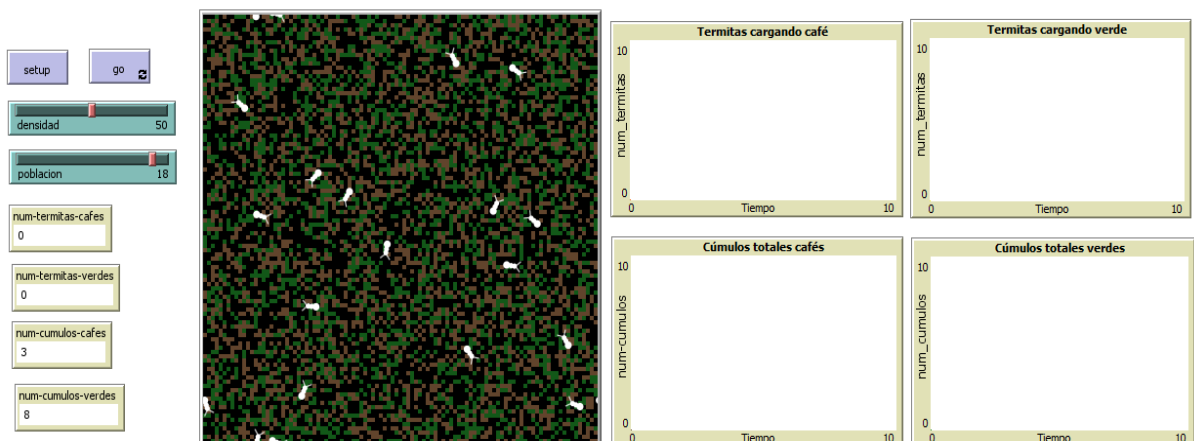
- b) El número de termitas que están cargando astillas: Para esto definimos una variable global llamada num-termitas, lo que hace es que va enumerando el número de termitas que están de color naranja. Igual tenemos un monitor donde nos va mostrando el número. Finalmente este es un ejemplo del comportamiento de la gráfica.



3. Extender el modelo considerando dos tipos de astillas de madera (por ejemplo, amarillas y cafés). La termita deja y recoge la astilla a partir del color del cúmulo. ¿cuántas pilas de astillas quedan al final? Muestre la evolución del sistema a partir de captura de pantallas del sistema. (2pt)

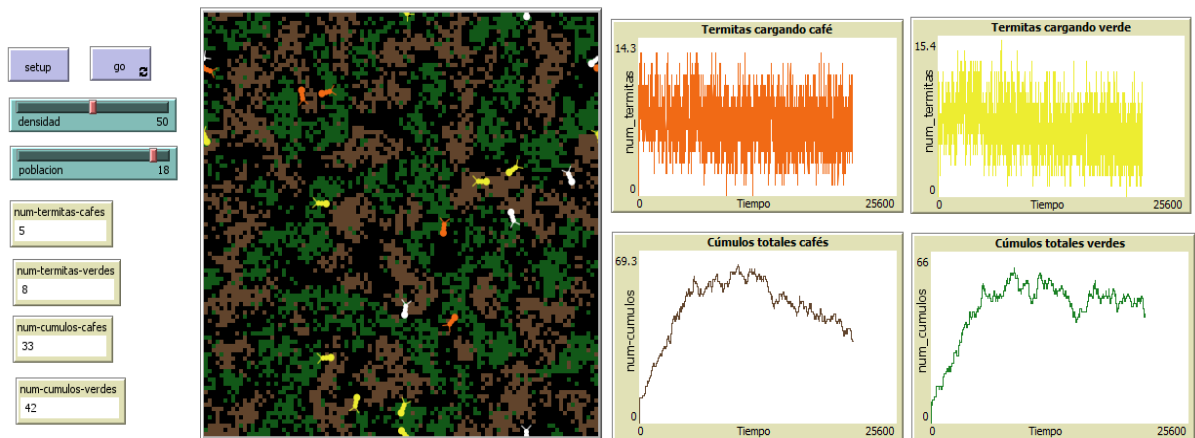
Para esto tenemos dos tipos de astillas **cafés y verdes**, y tenemos dos tipos de termitas **anaranjadas y amarillas**. En este caso las termitas anaranjadas son las encargadas de recoger las astillas cafés, mientras que las termitas amarillas recogen las astillas verdes. Una vez que tenemos esto definido veamos el comportamiento que tiene el programa:

- Lo primero que podemos observar son los dos tipos de astilla, en este caso probaremos con una densidad de 50 y una población de 18.

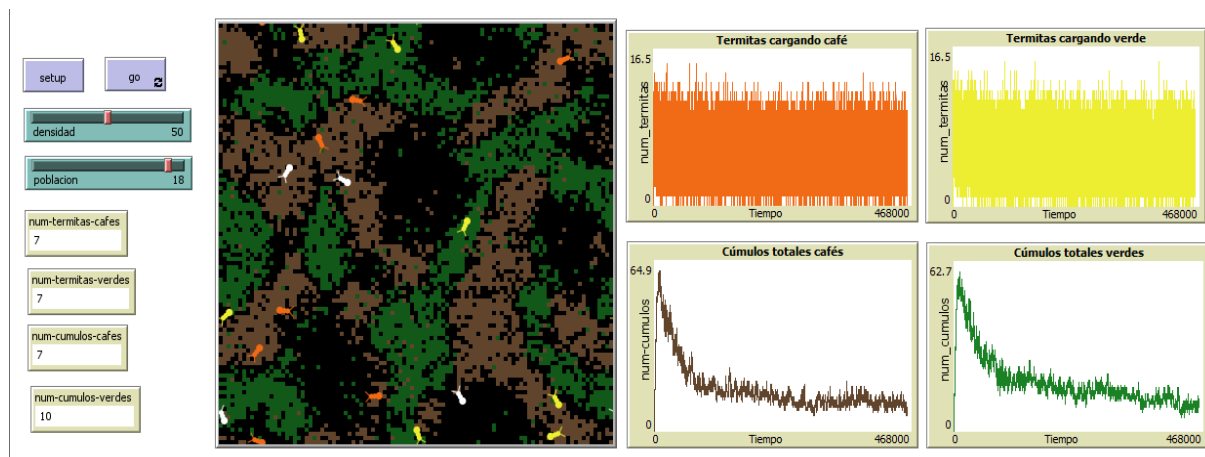




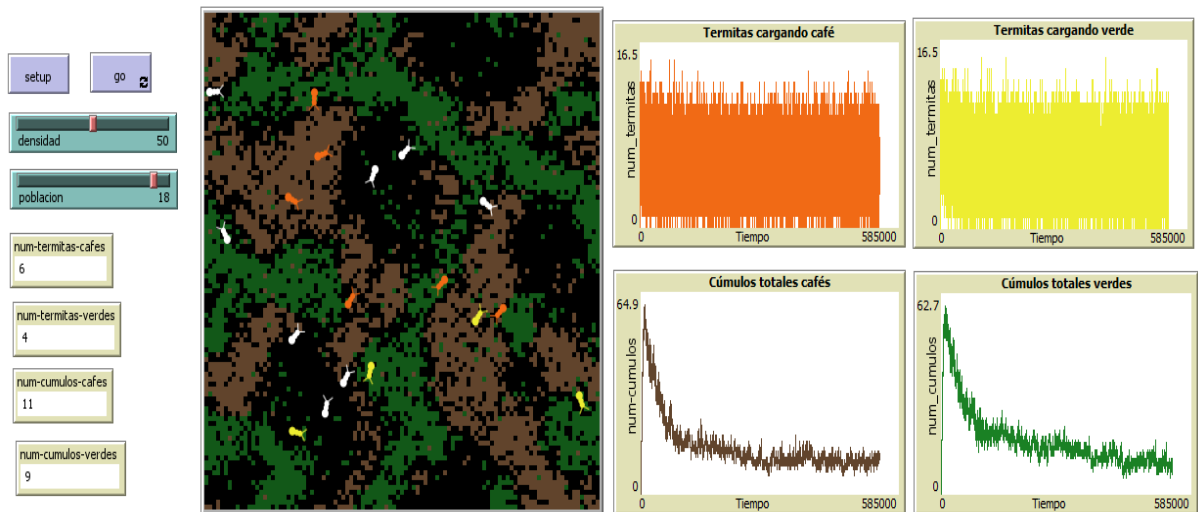
- En la siguiente imagen podemos observar que tenemos nuestras termitas amarillas y naranjas, las cuales llevan una astilla específica y también que se van formando pequeños cúmulos por color.



- Después de un tiempo podemos ver que ya tenemos un menor número de cúmulos y que estos están separados por color. Para que el proceso fuera más rápido pusimos una condición de que las astillas se deben de dejar en un cúmulo mínimo de 20 astillas, ya que de lo contrario tardaba demasiado. Por otra parte podemos observar que se presenta segregación.



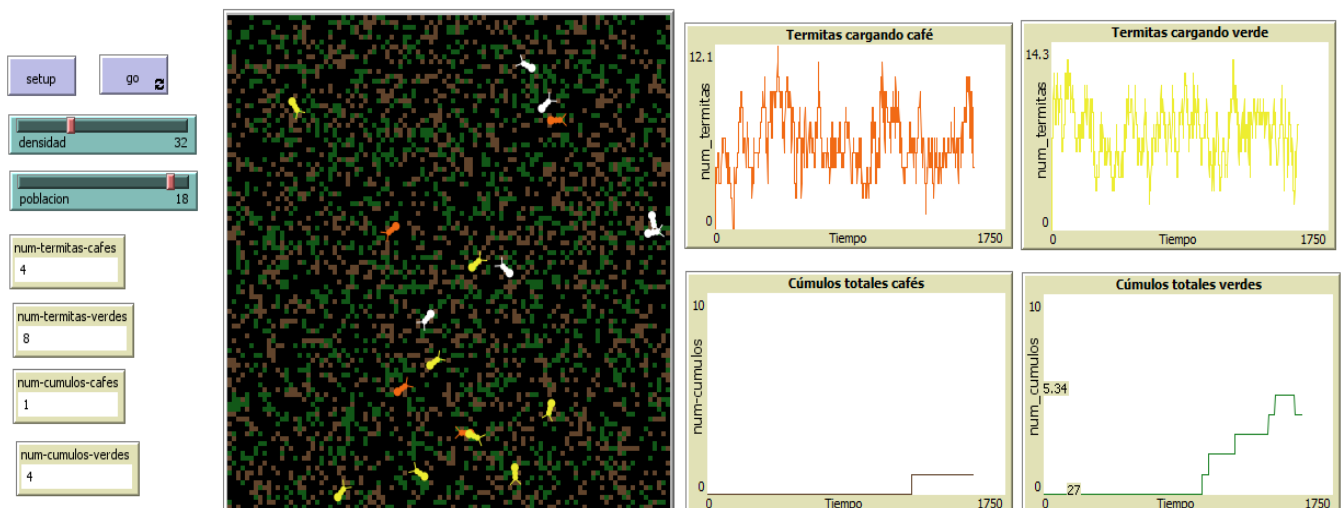
- Finalmente podemos observar que no se forma un cúmulo de cada color, sino que sólo reduce la cantidad de cúmulos formados, en este caso se formaron 11 cúmulos cafés y 9 verdes. Es posible que sólo se formen dos cúmulos, pero requeriría mucho más tiempo.



- En la regla original, la termita suelta la astilla si encuentra otra astilla del mismo color y sigue su camino. Implemente el siguiente comportamiento: una vez que suelta la astilla, la termita “salta” a otra posición de manera aleatoria. Este pequeño cambio genera la estructura de la siguiente Figura3.

Capture la pantalla de estados finales y explique el comportamiento. ¿Esta estructura se deduce a partir de las reglas locales? (1pt)

Con este cambio podemos observar que los cúmulos son más dispersos, al saltar aleatoriamente las termitas no se enfocan en un sólo cúmulo, sino que se van enfocando en diferentes formando pequeños cúmulos. Ahora contestando la pregunta si se podría deducir de las reglas locales, pero en este caso el salto aleatorio reduce la auto organización que se ve en el modelo original. Por otra parte a comparación de la implementación anterior fue más rápida la formación de cúmulos.



densidad  32

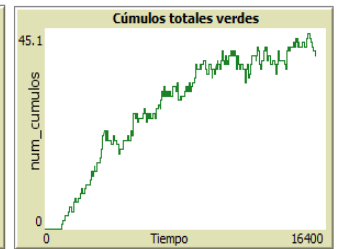
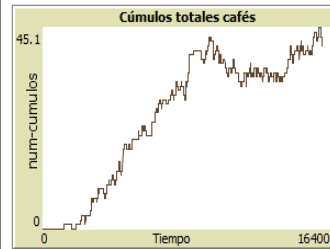
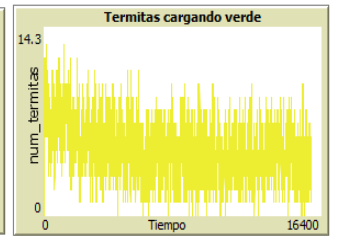
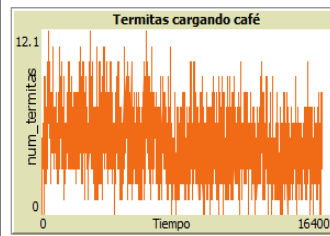
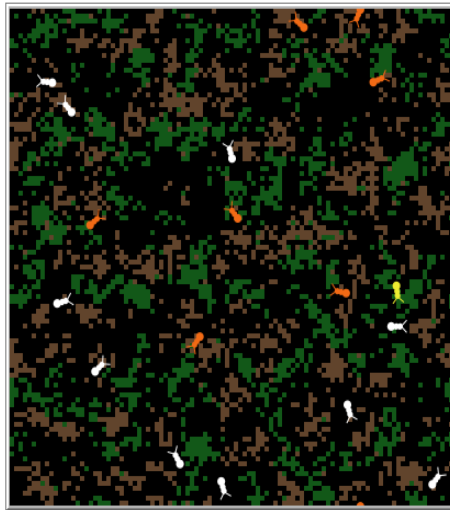
poblacion  18

num-termitas-cafes

num-termitas-verdes

num-cumulos-cafes

num-cumulos-verdes



densidad  32

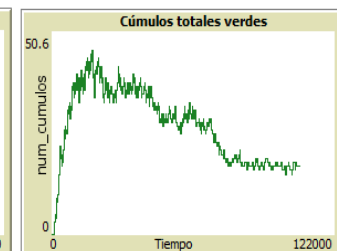
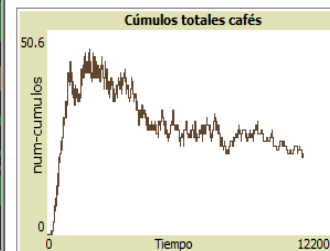
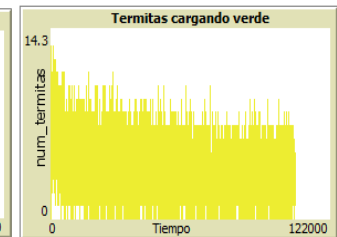
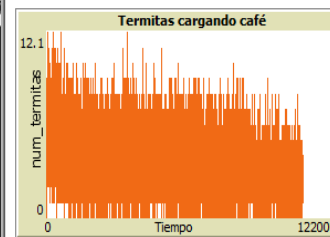
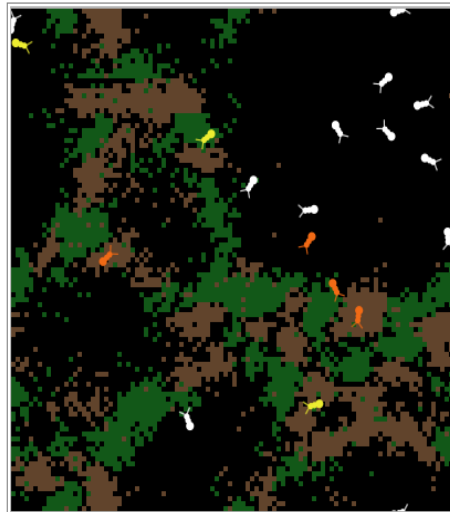
poblacion  18

num-termitas-cafes

num-termitas-verdes

num-cumulos-cafes

num-cumulos-verdes



densidad  32

poblacion  18

num-termitas-cafes

num-termitas-verdes

num-cumulos-cafes

num-cumulos-verdes

