

Proyecto final

Sugarscape: Sociedades Artificiales

Francisco Javier Rivera Maroñas

Introducción

Los modelos basados en agentes (ABM) son utilizados para observar fenómenos complejos que surgen a partir de la interacción de los agentes con su entorno y con otros agentes; esta interacción depende de un conjunto de reglas “simples” que obedecen los agentes. A diferencia de modelos de otro tipo (modelos de ecuaciones diferenciales, por ejemplo), los agentes de este tipo de modelos son distinguibles unos de otros pues tienen atributos específicos. En este tipo de modelos no existe un ordenador central: los agentes toman sus propias decisiones, las cuales dependen de sus capacidades y de la información local de la que disponen.

Sugarscape es un modelo (basado en agentes) de simulación social propuesto por Epstein y Axtell en su libro *Growing Artificial Societies* (1996). En Sugarscape, el término “sugar” (azúcar) se utiliza para referirse al recurso que necesitan sus habitantes para vivir (como si se tratara de alimento), pero también se utiliza para referirse al recurso que representa su poder y su riqueza; por ello, en lo sucesivo no lo traduciré.

En este modelo el entorno se representa con una cuadrícula de 50 x 50 parcelas (o celdas), y por unidad de tiempo se puede producir en cada una de ellas una cantidad de sugar determinada, que se acumula en la parcela hasta alcanzar su capacidad máxima de sugar, o hasta que algún agente llegue y recolecte el acumulado.

Los agentes son los habitantes de Sugarscape. Inicialmente sólo pueden recolectar y consumir el sugar que se ha acumulado en la parcela en la que se encuentran. Conforme se vayan agregando nuevas reglas al mundo, los agentes serán capaces de realizar otras actividades y nosotros seremos capaces de observar las consecuencias del agregado de sus acciones en forma de fenómenos emergentes cada vez más complejos.

Objetivo

- Reproducir el modelo Sugarscape tal y como fue planteado por Epstein y Axtell en su libro *Growing Artificial Societies*.
- Observar el comportamiento que presenta el modelo bajo distintas configuraciones.

Implementación

Decidí representar Sugarscape con objetos de tres tipos: mundo, parcela y agente. A continuación describo las características principales de cada uno de ellos:

Agente

- El objeto tipo agente está implementado en la clase Agente.
- Cada agente tiene una serie de atributos:
 - Genéticos: son aquéllos que heredan de sus padres y que en principio no varían con el tiempo.
 - No genéticos: son aquéllos que no heredan de sus padres.

Los atributos serán descritos a mayor profundidad más adelante.

- Cada agente puede realizar algunas de las siguientes acciones, dependiendo del conjunto de reglas del mundo al que pertenezca:
 - Moverse a otra parcela
 - Recolectar sugar
 - Morir por falta de alimento
 - Morir por causas naturales (vejez)
 - Contaminar una parcela
 - Buscar pareja para reproducirse
 - Buscar amigos
 - Atacar una parcela ocupada
 - Envejecer

Las acciones serán descritas a mayor profundidad más adelante.

Parcela

- El objeto tipo parcela está implementado en la clase Parcela.
- Cada parcela puede contener una cantidad de sugar no mayor a su capacidad máxima de sugar.
- Cada parcela puede contener a lo más un agente.

Mundo

- El objeto tipo mundo está implementado en la clase Mundo.
- Se representa como una cuadrícula de 50 x 50.
- Contiene parcelas, las cuales están asimiladas en una lista de listas; cada una de las listas interiores representa una de las filas en la cuadrícula. Cada parcela tiene un atributo en el que guarda su posición en la cuadrícula. Esto resulta muy conveniente, pues permite a cada parcela ubicar su posición absoluta en el mundo, luego, ubicar a sus parcelas vecinas. A partir de ahora, usaré el término “parcelas vecinas” de una parcela para referirme a aquéllas que se encuentran en el vecindario de Neumann de esa parcela (una arriba, una abajo, una a la izquierda y una a la derecha), a menos que especifique lo contrario.
- Es finito, y tiene forma de toroide de modo que cuando un agente avanza más allá de uno de los bordes de la cuadrícula, aparece en el borde opuesto de ella. Por ejemplo, cuando un agente que está en la posición ‘x’ en alguna de las parcelas de la primera fila se mueve una unidad hacia arriba (hacia donde no existen parcelas en la cuadrícula, pues se encuentra en la primera fila), aparece en la posición ‘x’ de última fila.
- Tiene dos montañas: con centros en las parcelas identificadas con los pares de coordenadas (15, 15) y (34, 34). Entre menor sea la distancia de alguna parcela al centro (punto más alto) de alguna de las montañas, mayor será su capacidad máxima de sugar (ver experimento 0 para mayor claridad).
- En una variable ‘tiempo’ asimila el número de veces que ha evolucionado el mundo, es decir, el número de intervalos de tiempo que han pasado desde que se creó el mundo.
- Para inicializarlo, se deben especificar las características de agentes y parcelas pertenecientes a él. Necesitará recordar estas características para poder crear agentes y parcelas y para poder actualizar su estado.
- Es el único objeto con el que interactúa el usuario:
 - El usuario crea al mundo y al hacerlo especifica sus características.
 - El usuario decide cuándo debe evolucionar el mundo, es decir, cuándo pasará el mundo del intervalo de tiempo en el que se encuentra al siguiente.

Reglas

Las reglas del mundo, tal y como las implementé. Como es de esperarse (ver objetivos), son muy parecidas a las reglas planteadas por Epstein y Axtell (ver apéndice B del libro *Growing Artificial Societies*).

Símbolo	Nombre	Definición
G_{α}	Crecimiento	En cada parcela crecen α unidades de sugar por unidad de tiempo hasta alcanzar la capacidad máxima de sugar de esa parcela; una vez alcanzada, ya no crece más sugar en esta parcela hasta que el acumulado sea recolectado.
M	Movimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desocupar mi parcela. 2. Ver tan lejos como permita mi visión en cuatro direcciones (abajo, arriba, izquierda y derecha) e identificar la parcela desocupada en el que haya la mayor cantidad de sugar. Si existen varias que tengan la mayor cantidad de sugar, elegir la que esté más cerca. Si hay más de una que esté más cerca, entre las que haya elegir al azar. 3. Moverme a la parcela elegida (siempre va a haber alguna, pues la que recién desocupé sigue vacía). 4. Recolectar todo el sugar disponible en la parcela.
R	Reemplazo	Cuando un agente muere, es reemplazado por un agente nuevo de edad 0.
$P_{\alpha\beta}$	Contaminación	<p>Los agentes contaminan su entorno (parcela actual) en α unidades por cada unidad de sugar que recolectan y en β unidades por cada unidad de sugar que metabolizan.</p> <p>Al implementar esta regla, la regla M cambia, pues a los agentes no les gusta la contaminación. Ahora se moverán a la parcela que tenga más sugar por menos contaminación (sugar / contaminación).</p>
D_{α}	Difusión	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cada α periodos de tiempo, se calcula la media de las parcelas vecinas de cada parcela y se asocia a ella este valor. 2. Para cada parcela, el valor de su contaminación pasa a ser el valor que se le asoció en el paso anterior. <p>No tiene sentido implementar esta regla si la regla P no está implementada.</p>
S	Sexo	<ol style="list-style-type: none"> 1. En caso de no ser fértil, no hacer nada (terminar). 2. Elegir al azar entre sus vecinos que sean fértiles y de sexo opuesto y para el cual haya ya sea en mi vecindario o en el suyo alguna parcela vacía, si no hay ninguno, no hacer nada (terminar). 3. Elegir al azar una parcela desocupada que esté en mi vecindario o en el vecindario del vecino elegido. 4. Tener un bebé con el vecino elegido, el cual nacerá en la parcela elegida. 5. Volver al paso 1.
I	Herencia	Cuando un agente muere, su sugar se divide equitativamente entre sus hijos.
K	Cultura	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisión cultural: Para cada vecino, si una de sus etiquetas culturales seleccionada aleatoriamente no coincide la mía, cambiarla. • Pertenencia de grupos: Existen dos grupos de agentes: los de que tienen más ceros que unos y los que tienen más unos que ceros. Para que no haya ambigüedad, el número de etiquetas culturales debe ser non.
C	Combate	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desocupar mi parcela.

Símbolo	Nombre	Definición
		<ol style="list-style-type: none"> 2. Ver tan lejos como permita mi visión en cuatro direcciones (abajo, arriba, izquierda y derecha) e identificar tanto los sitios desocupados, como los sitios ocupados por agentes de grupo cultural distinto al mío. 3. Para cada parcela que identifiqué como ocupada, descartarla si el agente que la habita tiene una cantidad de sugar mayor o igual a la mía. 4. Para cada una de las parcelas que identifiqué como ocupadas y que no he descartado, calcular el sugar que obtendré si la invado; si es menor que lo que tiene alguno de los agentes de distinto grupo cultural al mío que está en mi rango de visión habrá represalias (pues ese agente podría invadir la parcela en su próximo turno), por lo que no consideraré invadirla. 5. Entre las parcelas que no he descartado (aquéllas para las que no hay represalias y aquéllas que estaban vacías), elegir la que más sugar me proporciona. Si hay más de una elegir la que esté más cerca. Si hay más de una que esté más cerca, entre las que haya elegir al azar. 6. Moverme a la parcela elegida (siempre va a haber alguna, pues la que recién desocupé sigue vacía). 7. Si la parcela estaba ocupada, asesinar al agente que estaba habitándola y cobrar la recompensa correspondiente. 8. Recolectar todo el sugar disponible en la parcela. <p>Tanto esta regla como la regla M involucran movimiento; cuando el conjunto de reglas del mundo incluya ambas (C, M), no se implementará M.</p> <p>No tiene sentido implementar esta regla si la regla K no está implementada.</p>

Experimentos

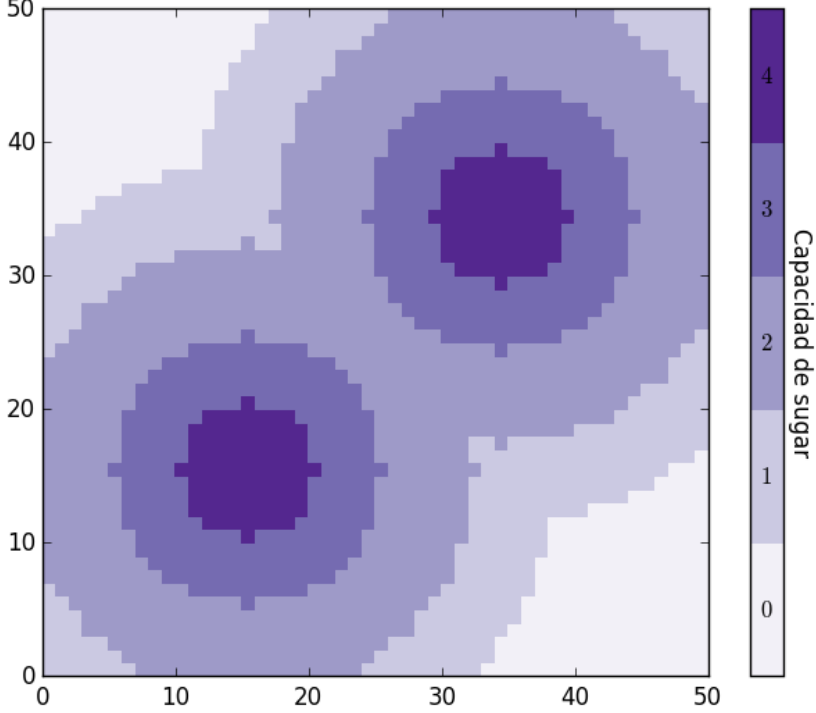
En adelante, denominaré “experimento” a un mundo creado bajo una configuración específica (o “hipótesis”). Para cada experimento se reportará:

- El objetivo de realizarlo.
- El conjunto de reglas y el valor de los parámetros (cuando éste sea distinto al valor predeterminado) bajo los cuales fue concebido.
- La cantidad de tiempo que duró el experimento (número de intervalos que evolucionó el mundo).
- Gráficas y animaciones que muestren los fenómenos descubiertos (o “resultados”).
- Explicación de los resultados
- Notas y observaciones relevantes.

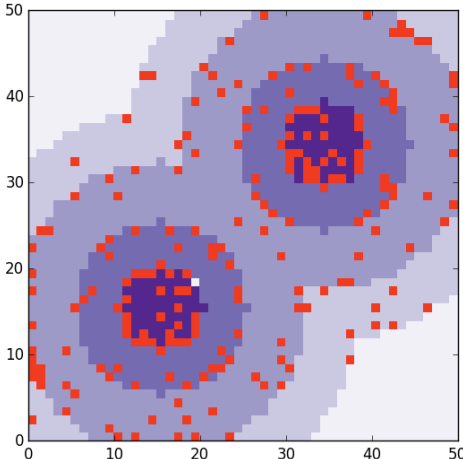
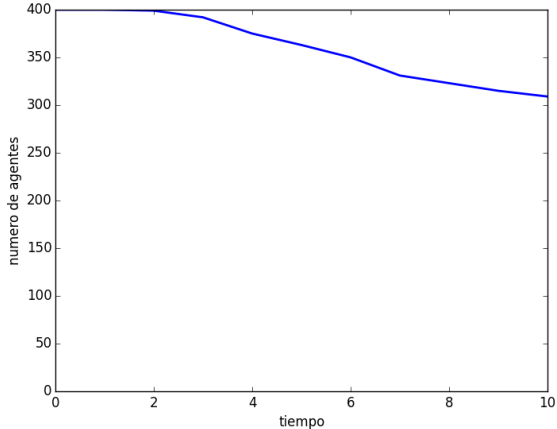
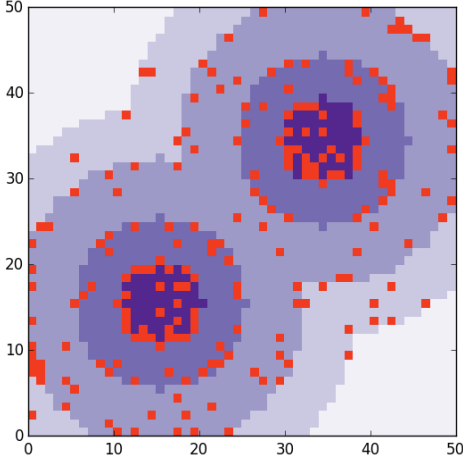
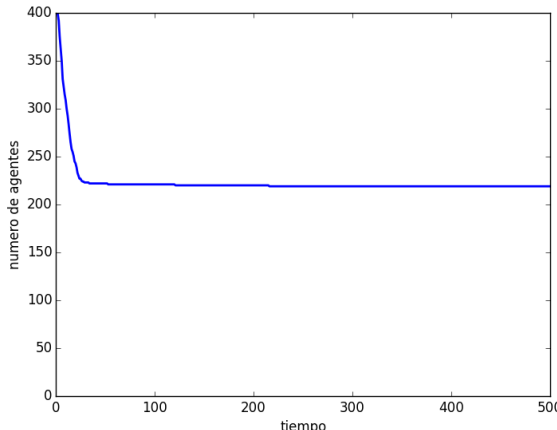
Valor predeterminado de los parámetros de creación del mundo

Parámetro	Requisitos para que tenga algún efecto	Valor	Significado
Máxima coordenada	Ninguno	(49, 49)	El mundo predeterminado mide 50 x 50.
Reglas		{'G', 'M', 'R', 'P', 'D', 'S', 'I', 'K', 'C'}	El mundo predeterminado incluye todas las reglas.
Número inicial de agentes		400	Inicialmente hay 400 agentes, que aparecen en posiciones aleatorias.
Metabolismo		(1, 4)	El metabolismo de los agentes se distribuye uniformemente entre 1 y 4.
Visión		(1, 6)	La visión de los agentes se distribuye uniformemente entre 1 y 6.
Sugar inicial de los agentes		(5, 25)	Los agentes inician con una dotación de sugar distribuida uniformemente entre 5 y 25.
Edad máxima		(60, 100)	La edad máxima de los agentes es determinada al crearlos. Esta edad se distribuye uniformemente entre 60 y 100.
Crecimiento de sugar en parcelas por intervalo de tiempo	Regla G	1	Indica el valor del parámetro α de la regla G.
Contaminación	Regla P	(1, 1)	El primer valor indica el valor del parámetro α de la regla P; el segundo valor indica el valor del parámetro β de la regla P.
Difusión de la contaminación	Regla D (y regla P)	1	Indica el valor del parámetro α de la regla D.
Rango de edad de reproducción del hombre	Regla S	(12, 50, 60)	Los agentes de género masculino son fértiles desde los 12 años de edad y hasta que tienen una edad distribuida uniformemente entre 50 y 60 (que es determinada al momento de crearlos).
Rango de edad de reproducción de la mujer		(15, 40, 50)	Los agentes de género femenino son fértiles desde los 15 años de edad y hasta que tienen una edad distribuida uniformemente entre 40 y 50 (que es determinada al momento de crearlos).
Longitud de la cultura	Regla K	11	La cultura de los agentes se representa con una cadena de ceros y de unos de longitud 11.
Recompensa máxima recibida por atacar una parcela	Regla C (y regla K)	Infinita	Los agentes, al invadir una parcela pueden saquear todo el sugar del agente que habitaba esa parcela.

Experimento 0

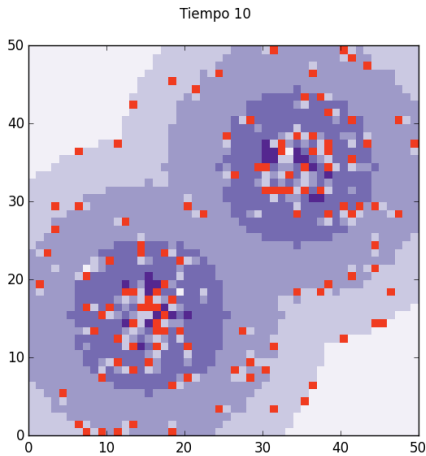
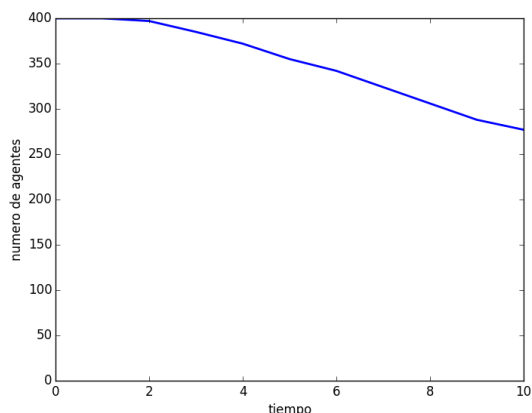
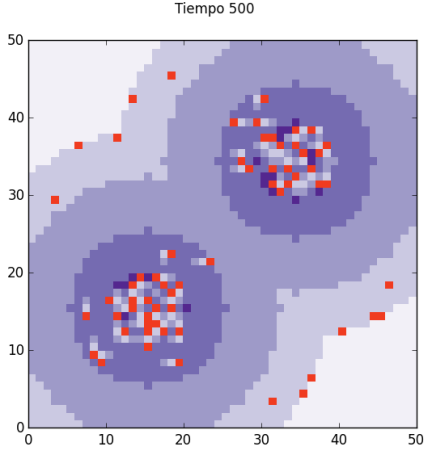
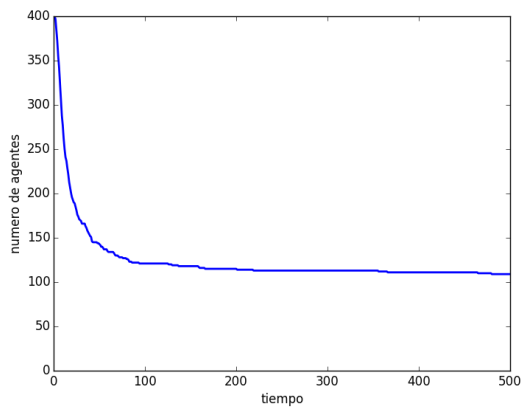
Experimento 0	Objetivos	Mostrar el mapa.
	Reglas	Ninguna
	Parámetros	Número inicial agentes: 0
	Resultado	<p>Tiempo 0</p>  <p>The figure is a 50x50 grid representing a world map at Time 0. It shows two mountain peaks. The first peak is centered at coordinates (15, 15) and the second at (34, 34). The sugar capacity is represented by a color gradient from light purple (0) to dark purple (4). The capacity is highest at the centers of the peaks and decreases as the distance from the center increases. A color bar on the right side of the grid indicates the sugar capacity scale, with values 0, 1, 2, 3, and 4 corresponding to different shades of purple.</p>
	Explicación	Se puede ver en la gráfica que los puntos más altos (o centros) de las montañas se encuentran en las parcelas identificadas con los pares de coordenadas (15, 15) y (34, 34). Entre más cercaba sea alguna parcela al centro de alguna de las dos montañas, mayor será su capacidad máxima de sugar.
	Notas	<p>Al momento de crear las montañas, el mundo no actúa como si tuviera forma de toroide.</p> <p>En adelante, representaré el sugar con color morado y a los agentes con color naranja; ya no mostraré la barra indicadora de colores.</p>

Experimento 1

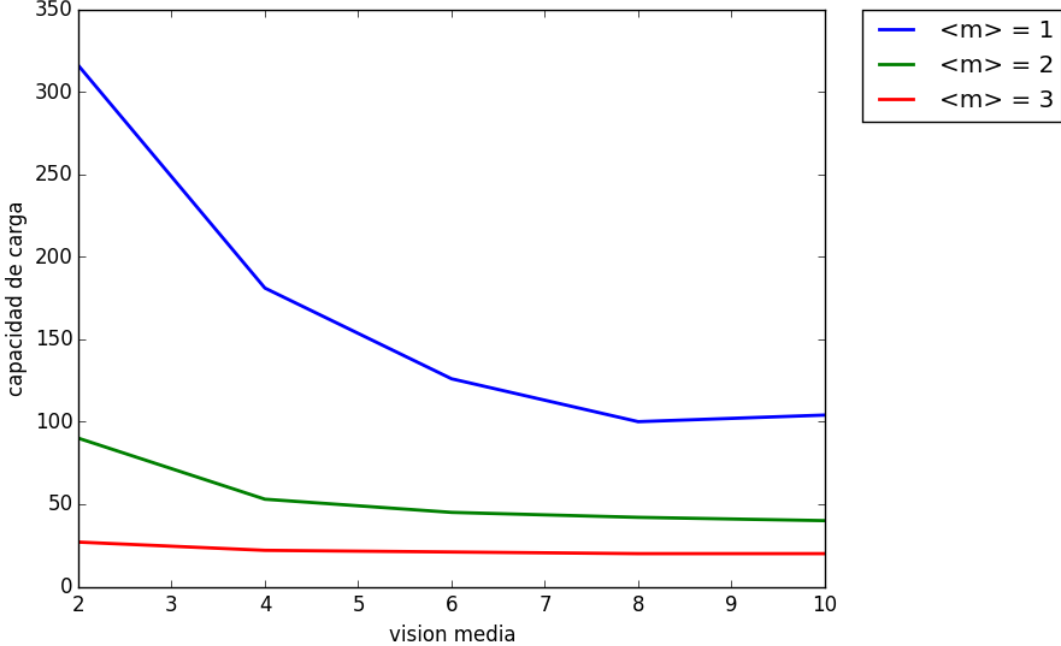
Experimento 1	Objetivos	Determinar si la capacidad de carga del mundo es convergente bajo la regla G_{∞} .	
	Reglas	G, M	
	Parámetros	Crecimiento de sugar: infinito Edad máxima: (1000, 1000): es un número entero entre mil y mil (o sea , mil).	
	Resultado	<p>Tiempo 10</p> 	
		<p>Tiempo 500</p> 	
	Animación	Se muestran los primeros 50 intervalos de tiempo. Se hacen pequeñas pausas en los primeros diez intervalos para que pueda verse con mayor claridad lo que sucede (ver estructura del proyecto).	
	Explicación	Los agentes dejan de moverse una vez que ya no tienen visión de una parcela en la que haya más sugar que la que se produce en la parcela en la que se encuentran (o sea, pronto dejan de moverse). Se puede ver que la capacidad de carga converge muy rápidamente a un valor cercano a 200, pues los agentes menos aptos mueren en los primeros diez turnos; los demás no mueren en el curso del experimento.	
	Notas	Fue necesario establecer la edad máxima en 1000 para que los agentes del experimento no la sobrepasaran (murieran de viejos) pues aún no he añadido mecanismos que permitan reemplazarlos (reglas R o S).	

Experimento 2

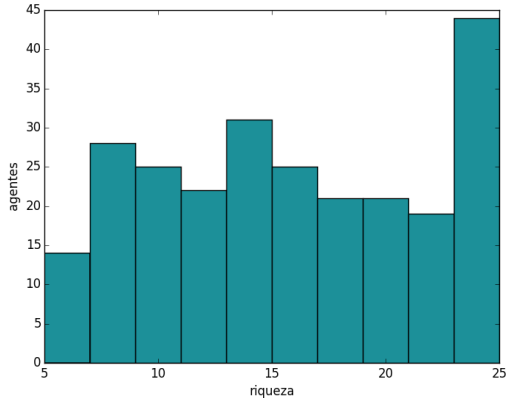
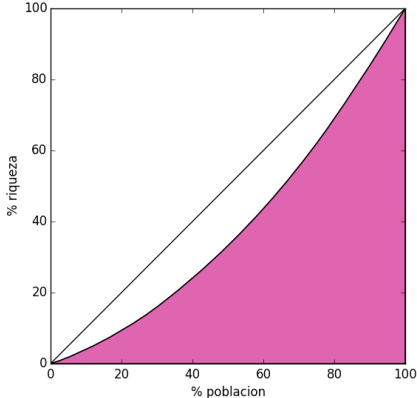
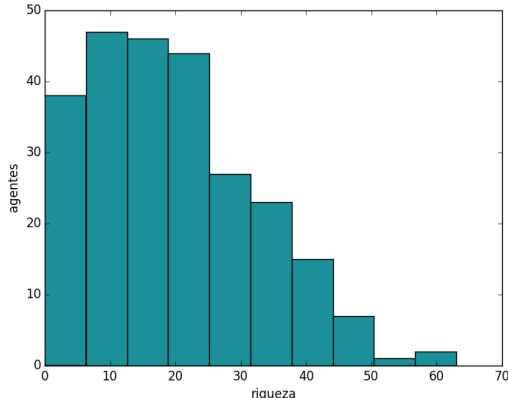
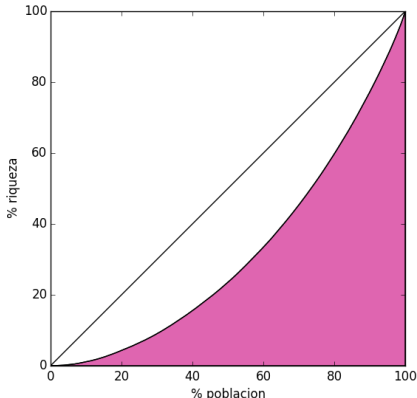
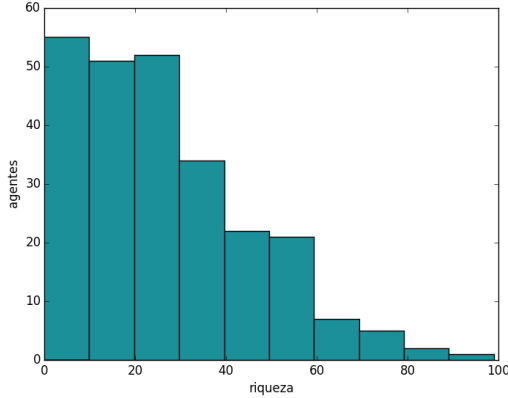
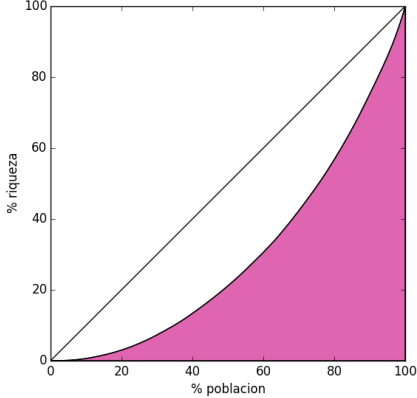
Experimento 2

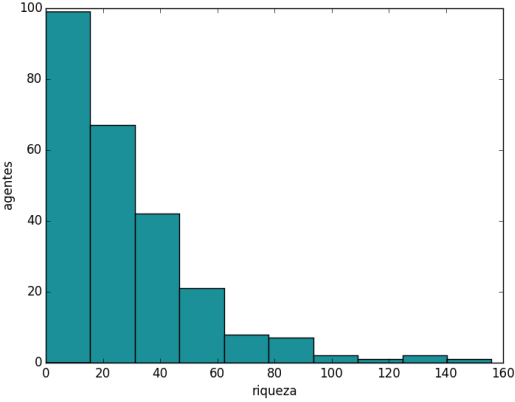
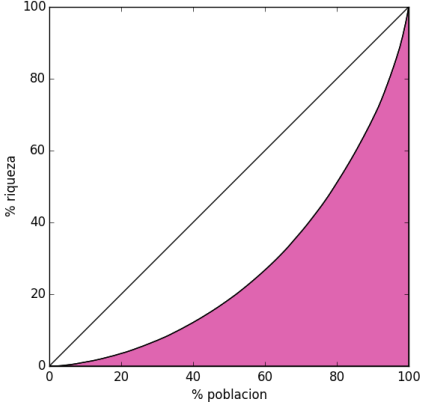
Objetivos	Determinar si la capacidad de carga del mundo es convergente bajo la regla G ₁ .		
Reglas	G, M		
Parámetros	Crecimiento	de	sugar: 1
	Edad máxima: (1000, 1000)		
Resultado			
			
Animación	Se muestran los primeros 150 intervalos de tiempo. Se hacen pequeñas pausas en los primeros diez intervalos para que pueda verse con mayor claridad lo que sucede		
Explicación	En los niveles más bajos de las montañas quedaron rezagados algunos agentes que tenían poca visión, pero que pudieron sobrevivir gracias a su lento metabolismo. Los agentes con más visión compiten por los recursos en los puntos más elevados de las montañas. Como es de esperarse, la capacidad de carga disminuye cuando disminuye la cantidad de sugar que crece en las parcelas por unidad de tiempo.		
Notas	Aunque traté de reproducir el experimento realizado por Axtell y Epstein, el resultado que obtuve es muy distinto del que obtuvieron ellos, pues en mi experimento la capacidad de carga resultante es cercana a 100, mientras que en el de ellos es superior a 220, ¿a qué se debe esta diferencia? Espero que esto no afecte demasiado los resultados de los experimentos posteriores		

Experimento 3

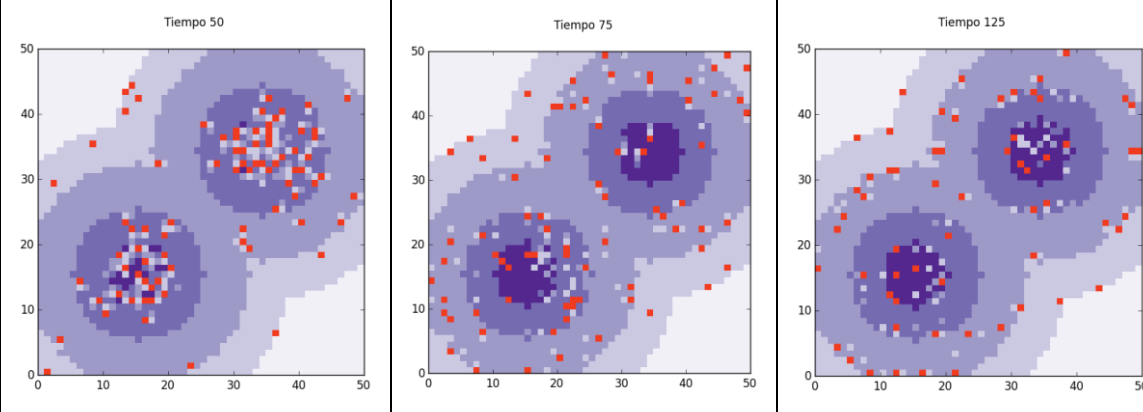
Experimento 3	Objetivos	Mostar cómo depende la capacidad de carga de la visión promedio y del metabolismo de los agentes.																																								
	Reglas	G, M																																								
	Parámetros	Crecimiento de sugar: 1 Edad máxima: (1000, 1000)																																								
	Resultado	 <table border="1"><caption>Datos estimados del gráfico</caption><thead><tr><th>visión media</th><th>$\langle m \rangle = 1$</th><th>$\langle m \rangle = 2$</th><th>$\langle m \rangle = 3$</th></tr></thead><tbody><tr><td>2</td><td>315</td><td>90</td><td>25</td></tr><tr><td>3</td><td>245</td><td>70</td><td>22</td></tr><tr><td>4</td><td>180</td><td>52</td><td>20</td></tr><tr><td>5</td><td>155</td><td>48</td><td>19</td></tr><tr><td>6</td><td>125</td><td>45</td><td>18</td></tr><tr><td>7</td><td>115</td><td>42</td><td>17</td></tr><tr><td>8</td><td>100</td><td>40</td><td>16</td></tr><tr><td>9</td><td>102</td><td>38</td><td>15</td></tr><tr><td>10</td><td>105</td><td>35</td><td>14</td></tr></tbody></table>	visión media	$\langle m \rangle = 1$	$\langle m \rangle = 2$	$\langle m \rangle = 3$	2	315	90	25	3	245	70	22	4	180	52	20	5	155	48	19	6	125	45	18	7	115	42	17	8	100	40	16	9	102	38	15	10	105	35	14
	visión media	$\langle m \rangle = 1$	$\langle m \rangle = 2$	$\langle m \rangle = 3$																																						
2	315	90	25																																							
3	245	70	22																																							
4	180	52	20																																							
5	155	48	19																																							
6	125	45	18																																							
7	115	42	17																																							
8	100	40	16																																							
9	102	38	15																																							
10	105	35	14																																							
Explicación	<p>Esta gráfica muestra, para un valor de metabolismo (de agentes) dado, la capacidad de carga del mundo dependiendo de la visión promedio de los agentes.</p> <p>Como uno esperaría, a mayor metabolismo menor capacidad de carga.</p> <p>Parece que conforme aumenta la visión disminuye la capacidad de carga. ¿Será porque los agentes ahora deben competir más por el sugar? Quién sabe.</p>																																									
Notas	<p>Esta gráfica es desesperanzadora, pues esperaba observar, como Epstein y Axtell, que conforme aumenta la visión promedio aumenta la capacidad de carga (y aquí observo lo contrario). Experimento fallido.</p>																																									

Experimento 4

Experimento 4	Objetivos	Observar cómo se distribuye la riqueza.	
	Reglas	G, M, R	
	Parámetros	Crecimiento de sugar: 1	
	Resultado	<div><p>Tiempo 0</p></div>	<div><p>Tiempo 0, coef. Gini: 0.225</p></div>
		<div><p>Tiempo 25</p></div>	<div><p>Tiempo 25, coef. Gini: 0.366</p></div>
		<div><p>Tiempo 50</p></div>	<div><p>Tiempo 50, coef. Gini: 0.405</p></div>

		<div><p>Tiempo 100</p></div>	<div><p>Tiempo 100, coef. Gini: 0.456</p></div>
	Explicación	<p>La gráfica de la izquierda muestra la distribución de la riqueza y la gráfica de la derecha muestra su curva le Lorentz correspondiente, así como el valor del coeficiente de Gini para esa curva. El coeficiente de Gini mide qué tan equitativa es la distribución de la riqueza; conforme se hace más grande, la distribución de la riqueza se hace menos equitativa.</p> <p>Conforme pasa el tiempo, los agentes ricos se vuelven más ricos y los agentes pobres perecen, por lo que es de esperarse que el coeficiente de Gini sea cada vez mayor. Sin embargo, hay que recordar que los agentes pueden vivir un máximo de 100 años, por lo que cuando algún agente muy rico muere, la distribución podría reajustarse y el coeficiente de Gini disminuir poco (no disminuirá demasiado).</p>	

Experimento 6

Experimento 6	Objetivos	Observar el efecto de la contaminación en Sugarscape.		
	Reglas	G, M, P (se activa en intervalo de tiempo 50) D (se activa en intervalo de tiempo 50)		
	Parámetros	Crecimiento de sugar: 1 Edad máxima: (1000, 1000)		
	Resultado			
	Animación	Se muestran los 200 intervalos de tiempo. En el intervalo número 50 se hace una breve pausa para advertir que las reglas de contaminación y de difusión están por activarse.		
	Explicación	Al principio, los agentes recolectan sugar tal y como lo hacían en el experimento 2. Pero en cuánto la regla de contaminación se activa, la contaminación (que depende en parte del sugar recolectado) en el punto más alto de cualquiera de las dos montañas resulta insoportable, por lo que los agentes se trasladan hacia zonas con menor capacidad de sugar. Conforme la contaminación empieza a difundirse, los agentes empiezan a frecuentar de nuevo a las zonas altas de las montañas, pero en grupos menos cuantiosos.		
	Notas	Esperaba que los agentes se movieran constantemente y en grupos grandes entre las zonas altas y las zonas bajas de la montaña. No pude observar este fenómeno debido a que el mundo es muy limitado en cuanto a su capacidad de carga (ver notas del experimento 2).		

Estructura del proyecto

Este proyecto incluye:

- Un reporte escrito que explique a profundidad cómo se implementó la solución y que muestre los resultados de los experimentos realizados.
- Los siguientes tres archivos de Python.
 - `sugarscape.py`: contiene el código necesario crear un mundo-sugarscape con las características deseadas.
 - `graf_sugarscape.py`: contiene el código necesario para visualizar y para graficar experimentos.
 - `experimentos.py`: contiene el código necesario para reproducir los experimentos que realicé.
- Animaciones de los experimentos 1, 2 y 5.

Posibles mejoras

- Descubrir a qué se debe que varios de los experimentos no resultaran como se esperaba.
- Agregar al mundo las reglas faltantes (E, T y L):
 - La regla E crea enfermedades en el mundo y dota a los agentes de un sistema inmunológico para combatirlos.
 - Las reglas T y L dotan al mundo de un sistema comercial y de un sistema crediticio respectivamente.
- Realizar más experimentos y reportar su resultado.
 - No se realizaron experimentos con las reglas S y C.
- Ordenar el código de los experimentos.
- Comentar el código.

Conclusiones

Necesito más tiempo para mejorar el proyecto acorde a los puntos señalados (ver 'Posibles mejoras').