



# Modelado de escenarios basado en agentes para explorar el genotipo ahorrador

José Darío Martínez-Ezquerro\*,\*\*, Jesús Erasmo Batta\*\*,  
Christopher Stephens\*\*

\* Unidad de Investigación Epidemiológica y en Servicios de Salud, Área Envejecimiento (UIESSAE), Centro Médico Nacional Siglo XXI, Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)

\*\* C3-Centro de Ciencias de la Complejidad, Universidad Nacional Autónoma de México

[jdme@ciencias.unam.mx](mailto:jdme@ciencias.unam.mx)



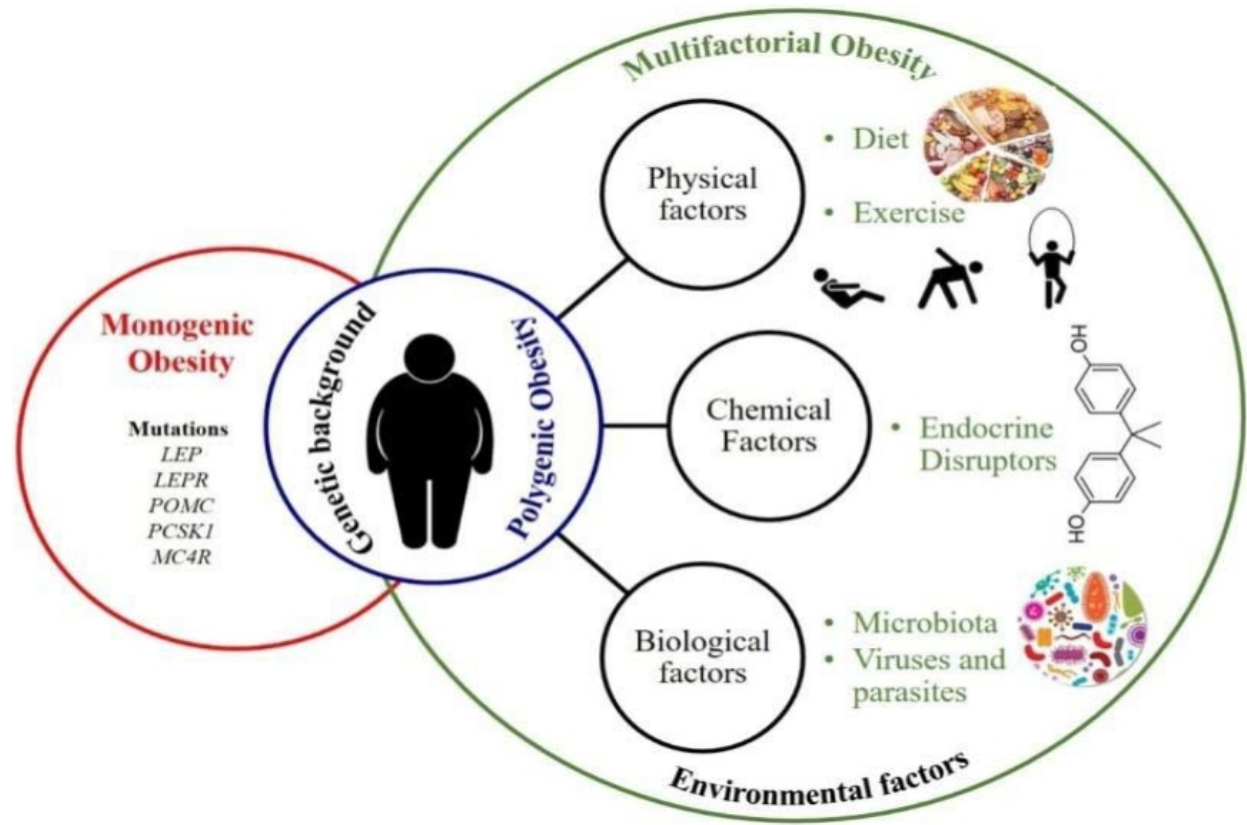
XIX Congreso Mexicano de Psicología Social

2022-09-23

# Obesidad

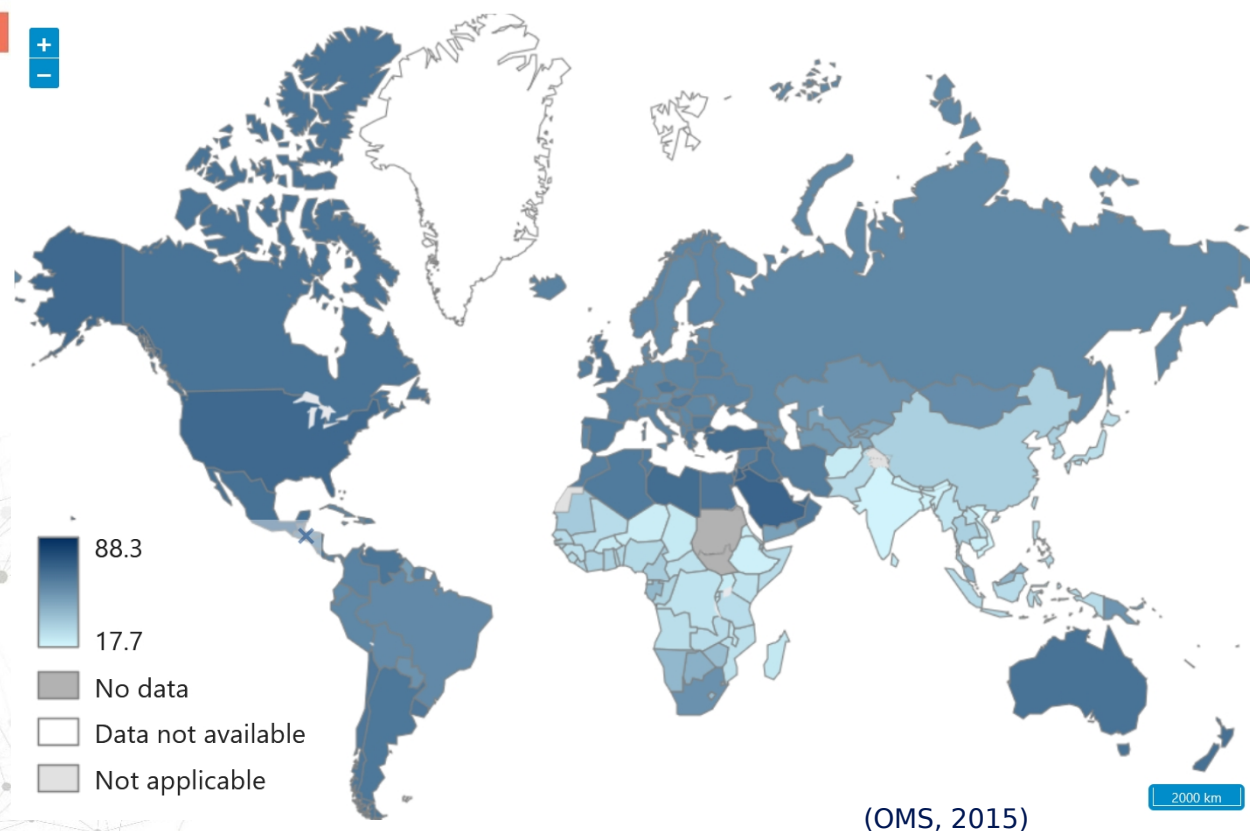
La obesidad es el resultado de un desequilibrio energético a largo plazo debido a las decisiones relacionadas con la ingesta y el gasto de energía (Batta & Stephens, 2022)

Su carácter multifactorial involucra aspectos genéticos y ambientales que impactan en el estado de peso corporal



Muñoz Yañez et al., 2017

# Obesidad



México es uno de los principales países en el mundo con obesidad. Alrededor del 75% de la población de 20 o más años padece sobrepeso u obesidad (INEGI, 2021)

Es una enfermedad que padece alrededor del 30% de la población mundial, afectando tanto a población pediátrica como adulta (Chooi et al., 2019; The Lancet Diabetes & Endocrinology, 2022)

# Hipótesis del gen ahorrador

Thrifty gene hypothesis (James Van Gundia Neel, 1962)

Los genes asociados con enfermedades actuales comunes como diabetes, hipertensión y obesidad son parte del conjunto (pool) de genes humanos debido a que ayudaron a los primeros ancestros a sobrevivir cuando las calorías y la sal eran menos abundantes

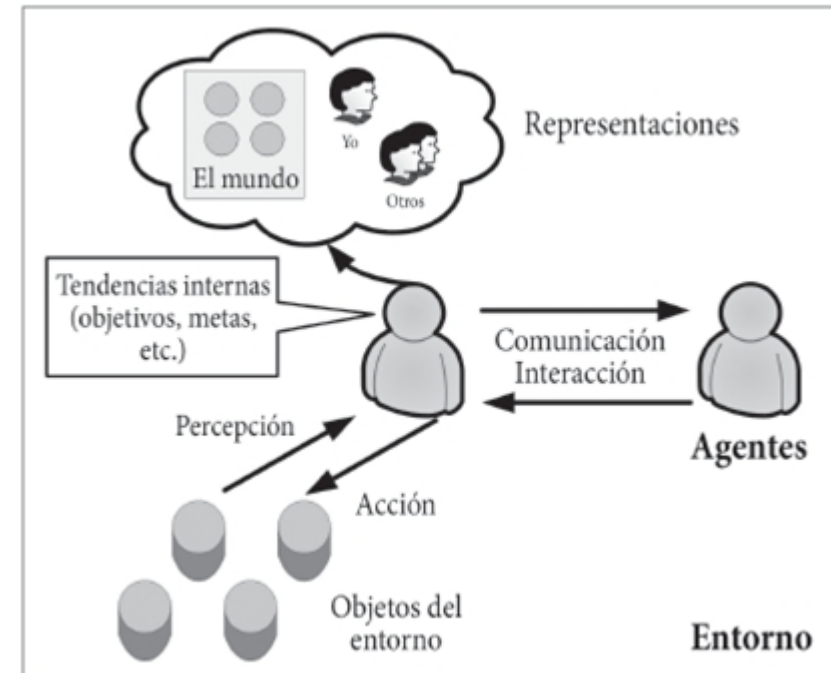
La selección natural favoreció individuos portadores de alelos “ahorradores” que promueven almacenamiento de grasa y energía pertenecientes a poblaciones que experimentaron periodos de abundancia y escasez.

# Modelado basado en agentes (ABM)

## Agent-based model (ABM)

Métodos computacionales que permiten modelar la estructura de un sistema complejo adaptativo y simular su evolución dinámica a lo largo del tiempo

- Agentes
- Entorno
- Reglas de comportamiento



Ferber, 1995

NetLogo (  
<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>)





# Objetivo

Modelar la tasa de supervivencia de agentes con diversas estrategias de percepción y preferencia alimentaria, así como de distintos límites de almacenamiento energético

# Metodología: ABM

Estudio *in silico*, transversal, comparativo

Evaluar dif. escenarios tras 500 generaciones (30x):

- Disponibilidad de recursos energéticos (50% richer)
- Estrategias de forrajeo (S1...S9)
- Límite de acumulación energética:
  - **5 (n= 840)**

**VS**

- **+1, +10, +50 o +100 (n=840)**
- Preferencia por recursos con alta densidad energética

Symbol	Parameter	EXP 1	EXP 2
$E_{\alpha}(t)$	Internal energy of agent $\alpha$ at time $t$		
$ET$	Energy threshold between metabolic expenditure/movement regimes	20	20
$Mb$	Base metabolic rate	0.05	0.05
$Cp$	Energetic cost of active perception	0.01	0.01
$Cm$	Energetic cost of movement	0.02	0.02
$pm$	Probability of movement		
$S1, \dots, S9$	Foraging strategies		
$L_{\alpha}(t)$	Energy accumulation limit of $\alpha$ at time $t$	5, 6, 15, 55, 105	55, 105
$E_{normal}$	Amount of energy of normal food at a given grid cell	1.0	2.0
$E_{richer}$	Amount of energy of energy richer food at a given grid cell	2.0	4.0
	Rate of energy richer food cells	50%	50%
$pg$	Probability of regeneration of food resource per cell per unit time	[0.1,1.0]	0.0, 1.0
$t(0 \rightarrow E_{\alpha})$	Time required by S2 agents to pass from zero to a given value of energy with abundance of food resources		
$tab$	Mean duration of abundance period		60
$t(E_{\alpha} \rightarrow 0)$	Time required by S2 agents to pass from a given value of energy to zero with no food resources		

# Metodología: Simulaciones

Archivo Editar Herramientas Tamaño Pestañas Ayuda

Ejecutar Información Código

Editar Borrar Añadir  | velocidad normal |  Actualizar de la Vista... | Configuración...  
ticks:

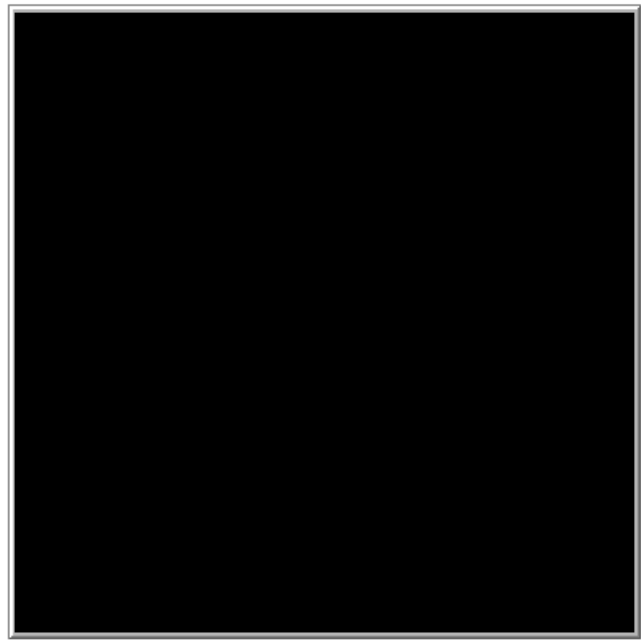
setup go go once

CostP 0.13  
Cm 0.010 rate-richer-... 0.31  
Mb 0.05 Es-normal-f... 3.0  
p-grow 0.586 Es-richer-... 10.0

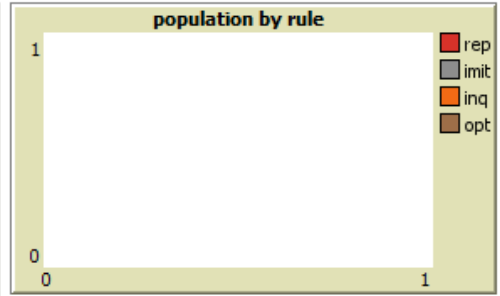
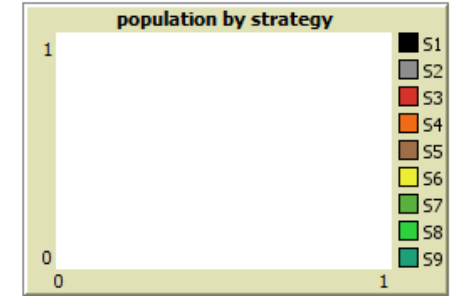
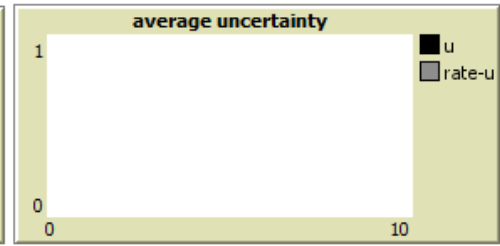
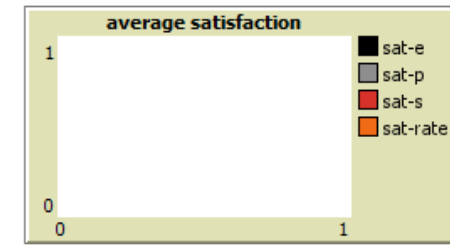
regeneration-type  
all-patches p-oasis 1.00  
decision-rule-mode  
dynamic one-rule  
repetition

tournament  
all

acc-limit-a 26 E0 10  
acc-limit-b 65 movement-type  
composed  
eating-fraction 1.00  
sources-distribution  
constant



initial-strategy-a S9 initial-food-afinity-a A CostTypeB 0.10  
initial-strategy-b S4 initial-food-afinity-b A



On/Off season-stochastic  
time abundance 0 time famine 0  
season time 0 no. cycles 0 season-t 0  
time-famine 0  
std-season 0 final-cycle 10 # agents 0  
On/Off final-abundance-stage

needs  
only-existential  
On/Off history-record  
Emax 0  
metabolism-type  
constant-lineal

pop-total 1680  
On/Off famine-abundance  
p-grow-abundance 0.000  
p-grow-famine 0.000



# Metodología: Simulaciones

setup go go once

CostP 0.13  
Cm 0.010  
Mb 0.05  
p-grow 0.586

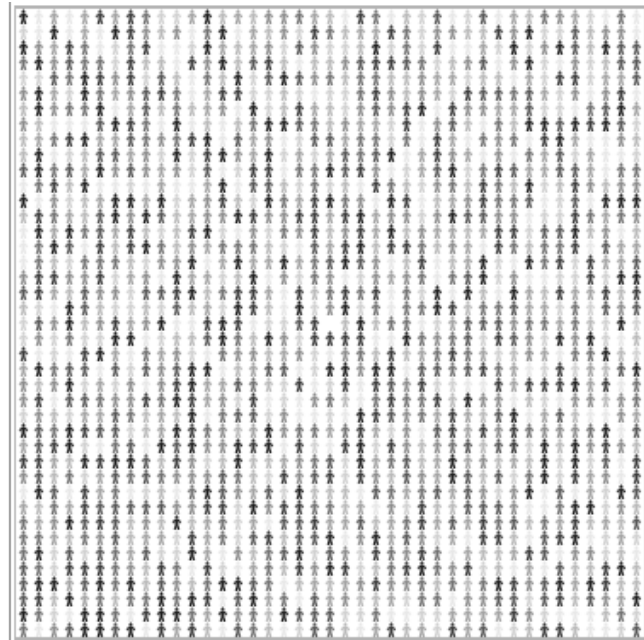
rate-richer-... 0.31  
Es-normal-f... 3.0  
Es-richer-... 10.0

regeneration-type  
all-patches  
decision-rule-mode  
dynamic  
tournament  
all

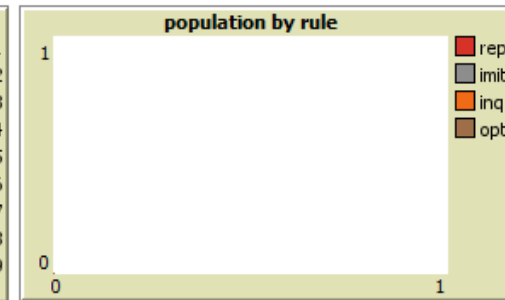
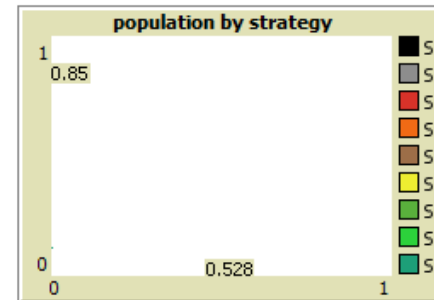
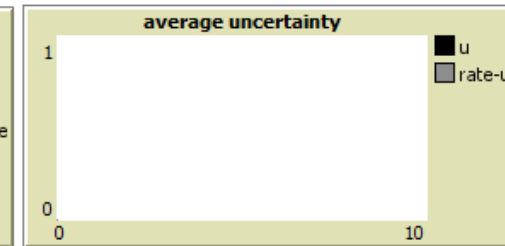
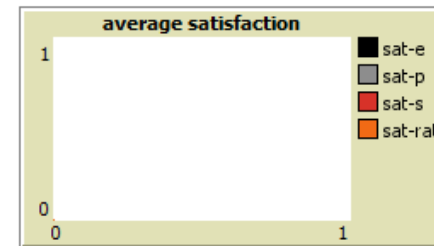
p-oasis 1.00  
one-rule  
repetition

acc-limit-a 26  
acc-limit-b 65  
eating-fraction 1.00  
sources-distribution  
constant

E0 10  
movement-type  
composed



initial-strategy-a S9  
initial-strategy-b S4  
initial-food-afinity-a A  
initial-food-afinity-b A  
CostTypeB 0.10



season-stochastic On/Off  
time-abundance 0  
time-famine 0  
season time 0  
no. cycles 0  
season-t 0  
# agents 1680  
final-cycle 10  
final-abundance-stage On/Off

needs only-existential  
history-record On/Off  
Emax 0  
metabolism-type constant-lineal

pop-total 1680  
famine-abundance On/Off  
p-grow-abundance 0.000  
p-grow-famine 0.000

# Metodología: Simulaciones

setup go go once

CostP 0.13  
Cm 0.010  
Mb 0.05  
p-grow 0.586

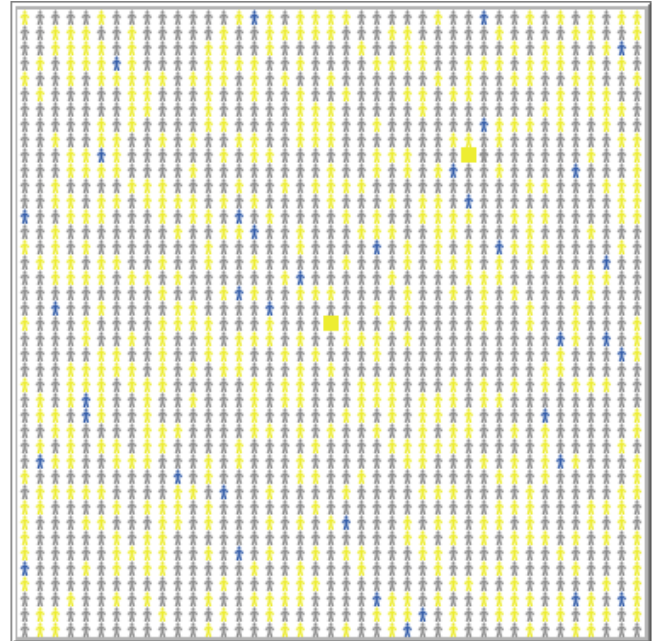
rate-richer-... 0.31  
Es-normal-f... 3.0  
Es-richer-... 10.0

regeneration-type  
all-patches  
decision-rule-mode  
dynamic  
tournament  
all

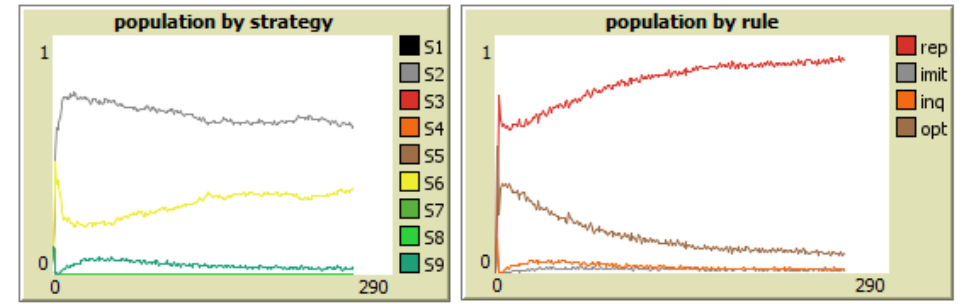
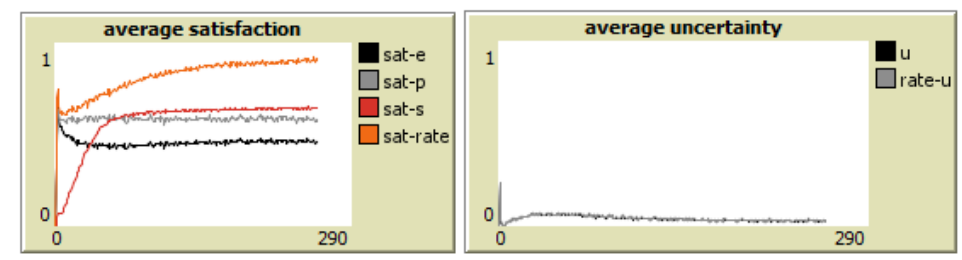
p-oasis 1.00  
one-rule  
repetition

acc-limit-a 26  
acc-limit-b 65  
eating-fraction 1.00  
sources-distribution  
constant

E0 10  
movement-type  
composed



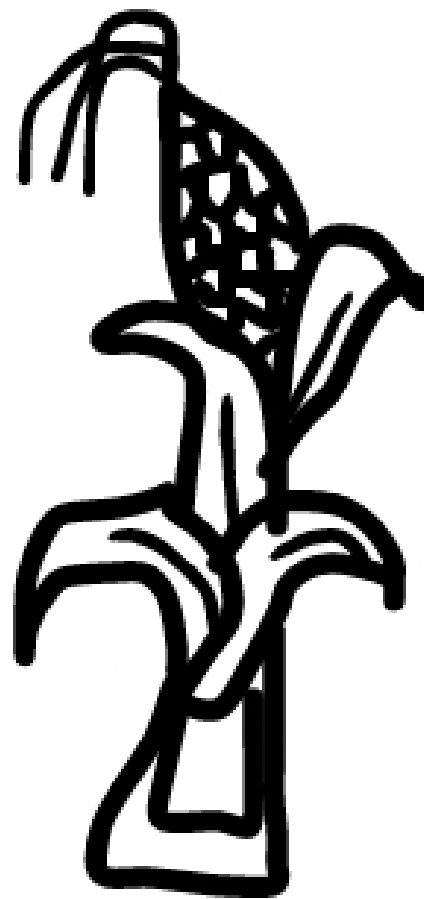
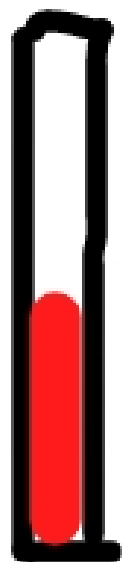
initial-strategy-a S9  
initial-strategy-b S4  
initial-food-afinity-a A  
initial-food-afinity-b A  
CostTypeB 0.10



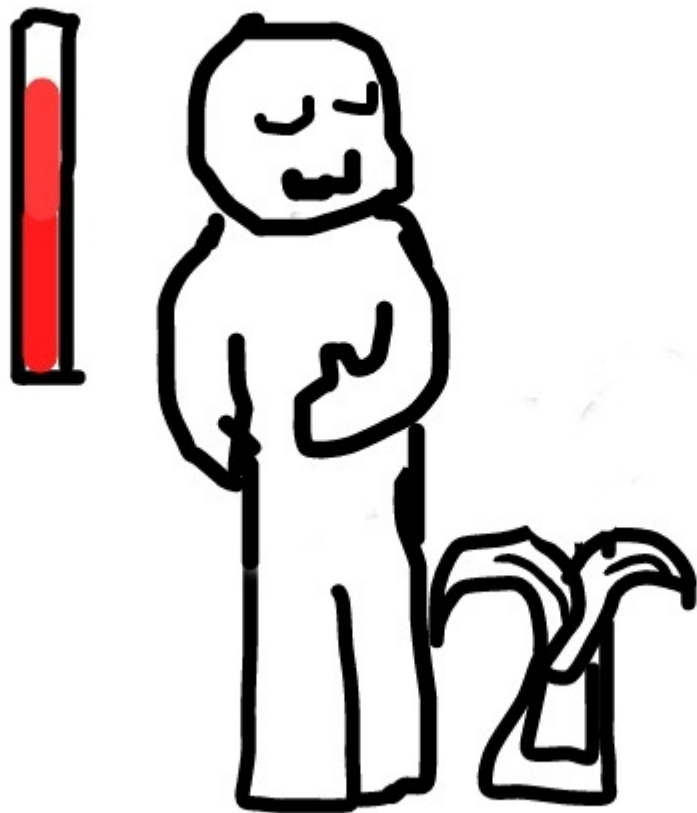
season-stochastic On/Off  
time-abundance 0  
time-famine 0  
season time 0  
no. cycles 0  
season-t 0  
# agents 1680  
final-cycle 10  
final-abundance-stage On/Off

needs only-existential  
history-record On/Off  
Emax 0  
metabolism-type constant-lineal

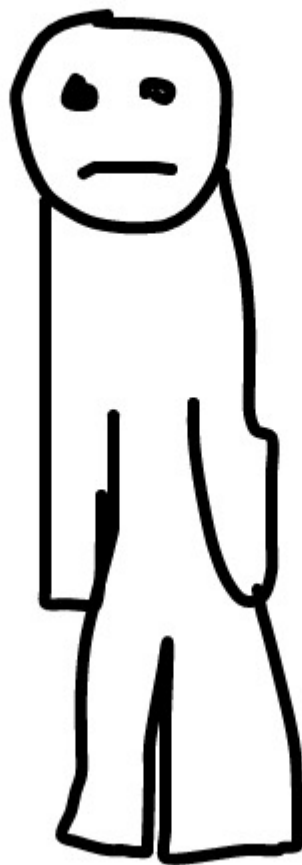
pop-total 1680  
famine-abundance On/Off  
p-grow-abundance 0.000  
p-grow-famine 0.000





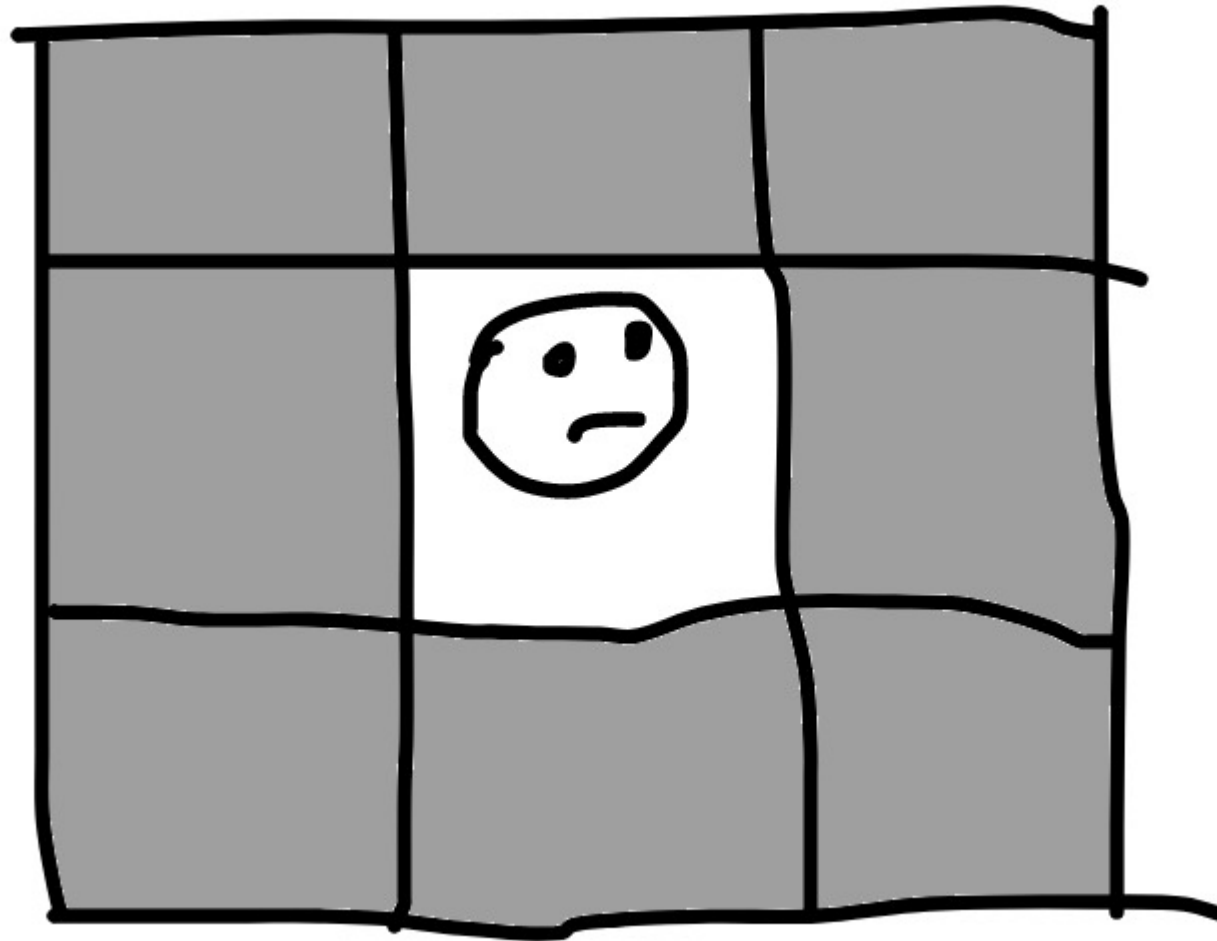




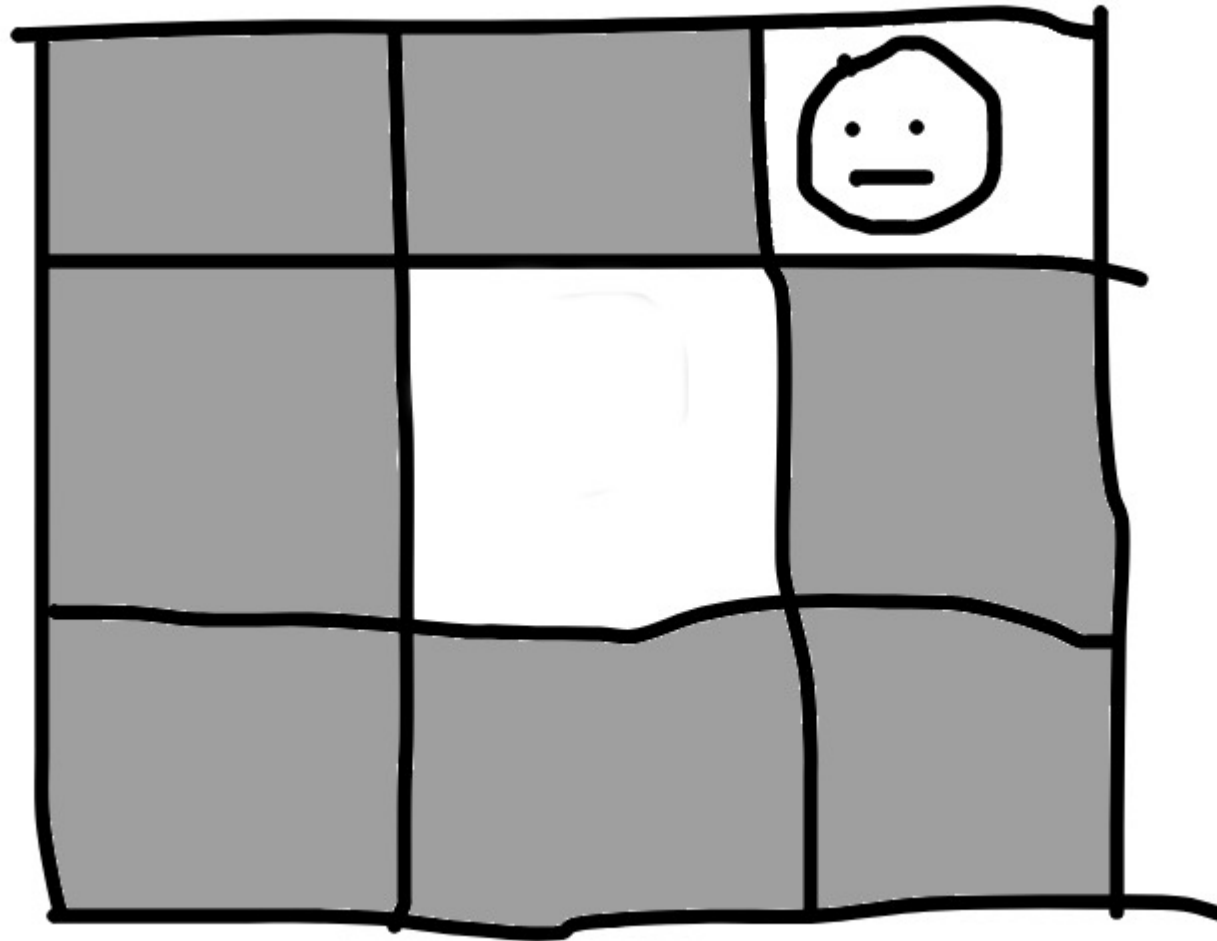




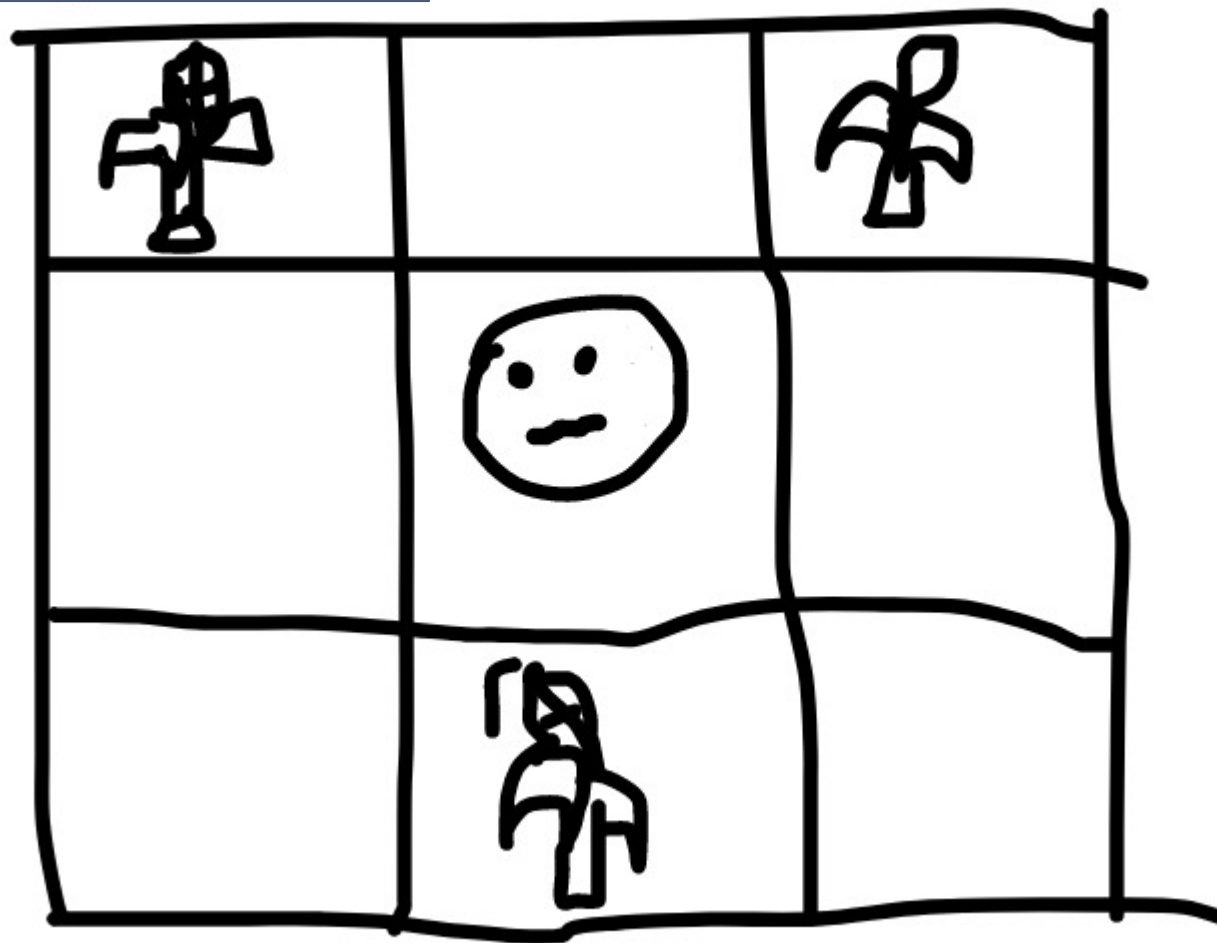
SIN PERCEPCIÓN



SIN PERCEPCIÓN



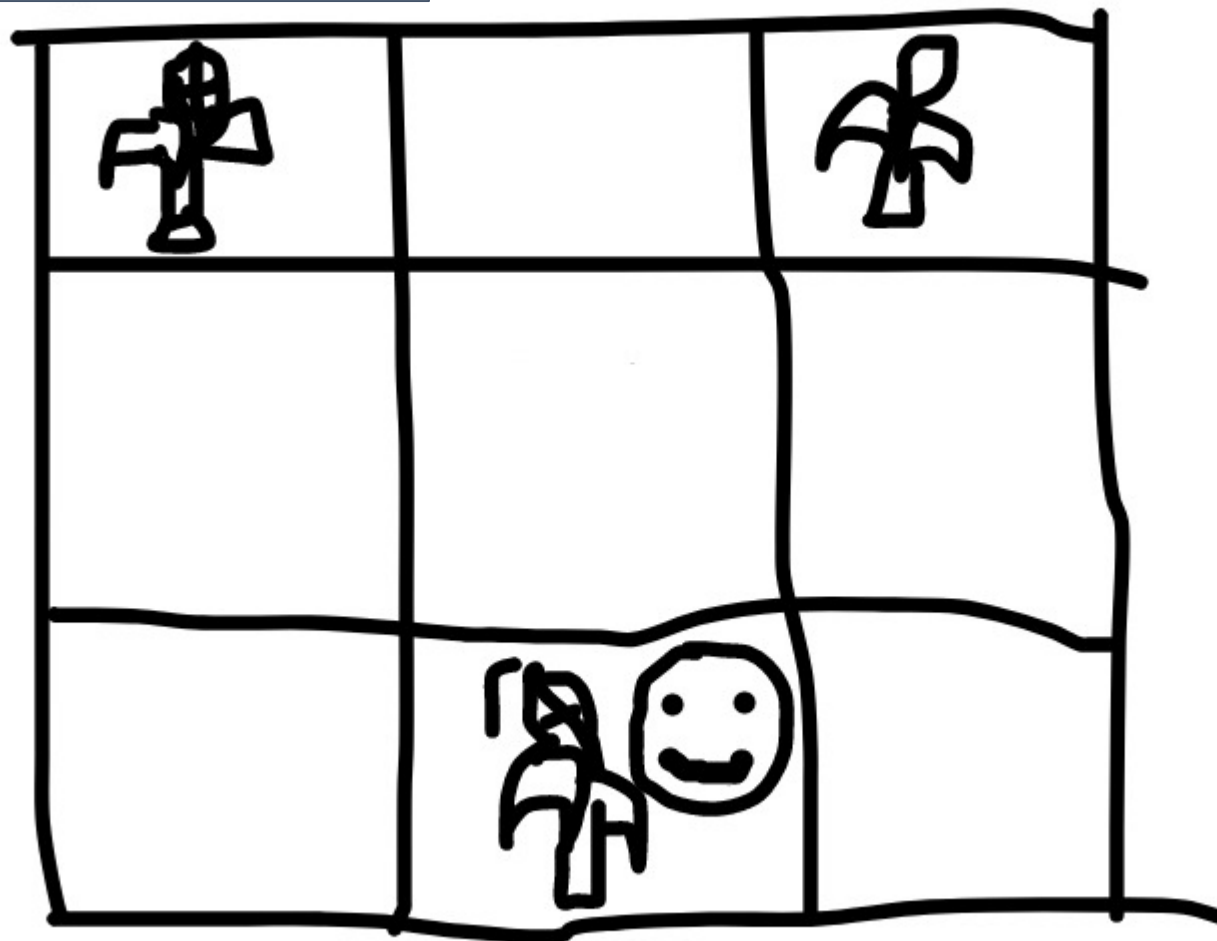
CON  
PERCEPCIÓN





CON  
PERCEPCIÓN

\$















# Estrategias de forrajeo

S1 : No se mueven, no perciben, no comen.

S2 : No se mueven, no perciben, sí comen.

S3 : No se mueven, sí perciben, no comen.

S4 : No se mueven, sí perciben, sí comen.

S5 : Sí se mueven, no perciben, no comen.

S6 : Sí se mueven, no perciben, sí comen.

S7 : Sí se mueven, sí perciben, no comen.

S8 : Sí se mueven, sí perciben, sí comen.

S9 : Perciben su entorno y se mueven solamente si hay alimentos disponibles, luego se lo comen.

# Simulaciones

- Niveles de acumulación como estrategia: Un agente “decide” su límite máximo de acumulación
  - Lo necesario para sus actividades: **5**
  - Ahorradores: **+1, +10, +50 o +100**
- Además, agregamos una decisión adicional relativa al tipo de comida que busca el agente:
  - **Agente A:** consume indistintamente su alimento
  - **Agente B:** busca activamente (con un costo) alimentos más energéticos, pero consume lo que encuentra, aunque no sea su primera preferencia



# Simulaciones

- 500 generaciones (pasos temporales)
- 1680 agentes al inicio en 1681 celdas en una red cuadrada.
- 840 de ellos tienen un límite de acumulación igual a 5
- 840 son ahorradores, con otro nivel de acumulación mayor (+1, +10, +50 o +100).
- Todos los agentes tienen el mismo conjunto de acciones o estrategias de forrajeo (S1, S2, ..., S9) y la misma estrategia de tipo de comida.

# Simulaciones

- En las celdas hay alimentos con dos diferentes valores de energía, uno “normal” (en la mitad de las celdas) y otro “energético” (en la otra mitad de las celdas). Todas las celdas tienen la misma probabilidad de regeneración y no cambian de tipo de alimento producido.
- Se registra la diferencia de la población de agentes con límite de acumulación 5 contra la de agentes con límite de acumulación mayor (+1, +10, +50 o +100).
- Nos fijamos específicamente en las poblaciones al final de las 500 generaciones.
- El experimento se repite 30 veces y calculamos los promedios.



# Simulaciones

- Un tipo de agente tiene una “ventaja” sobre otro tipo cuando el promedio de las diferencias de poblaciones es positivo, es decir, que consistentemente hay más agentes del primer tipo al final de las simulaciones.

# Resultados

# Conjuntos de acciones



S1 : No se mueven, no perciben, **no comen**



S2 : No se mueven, no perciben, sí comen



S3 : No se mueven, sí perciben, **no comen**



S4 : No se mueven, sí perciben, sí comen



S5 : Sí se mueven, no perciben, **no comen**



S6 : Sí se mueven, no perciben, sí comen

S7 : Sí se mueven, sí perciben, **no comen**

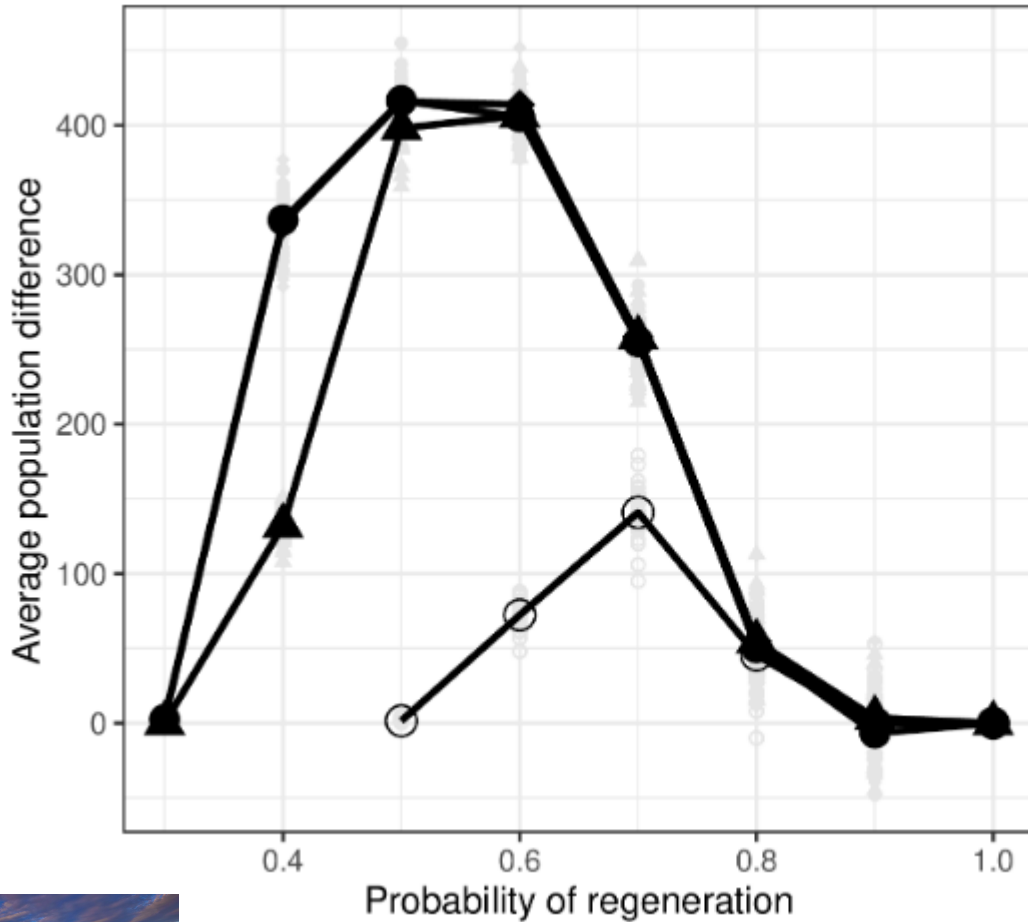
S8 : Sí se mueven, sí perciben, sí comen

S9 : Perciben su entorno y se mueven solamente si hay alimentos disponibles, luego se lo comen.

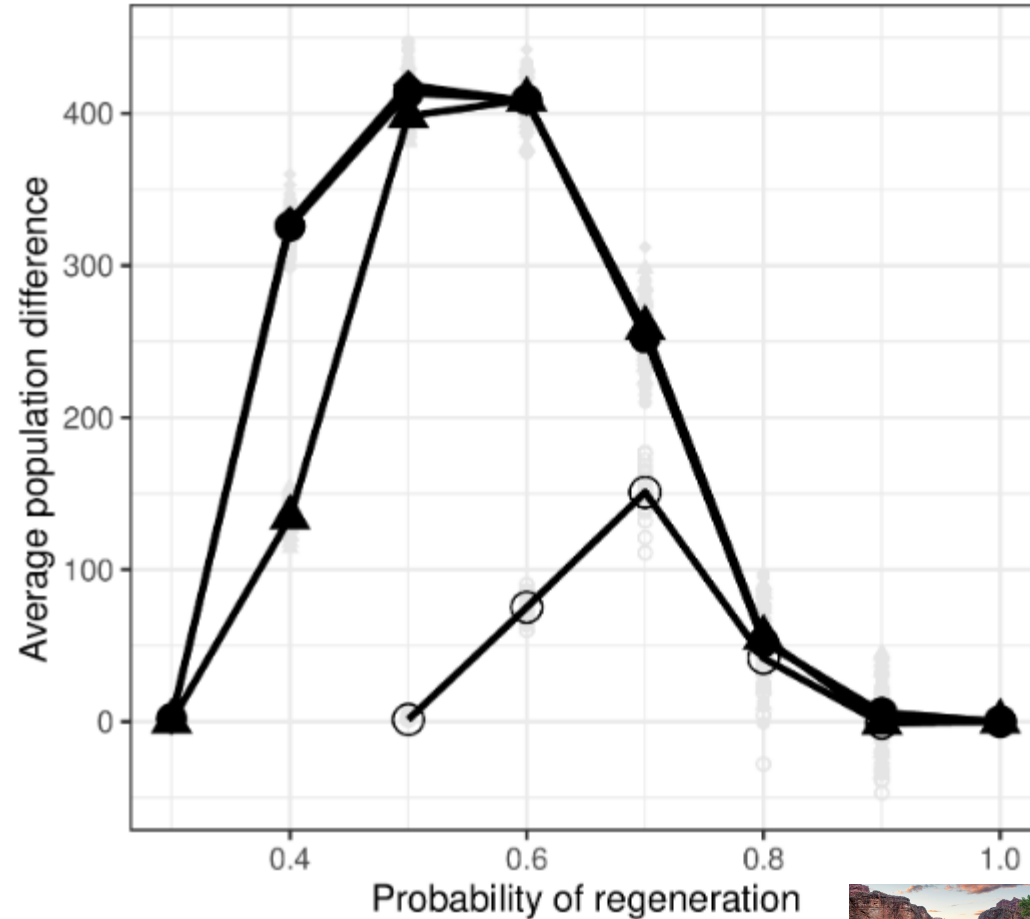
# Resultados: ¿Ventaja de acumulación?

S2 . No se mueven, no perciben, sí

S2\_A\_diff\_pop



S2\_B\_diff\_pop



A: Sin preferencia por tipo de alimento

B: Preferencia por alimento "richer"

accumulation limit

- 105
- ▲ 15
- ◆ 55
- 6

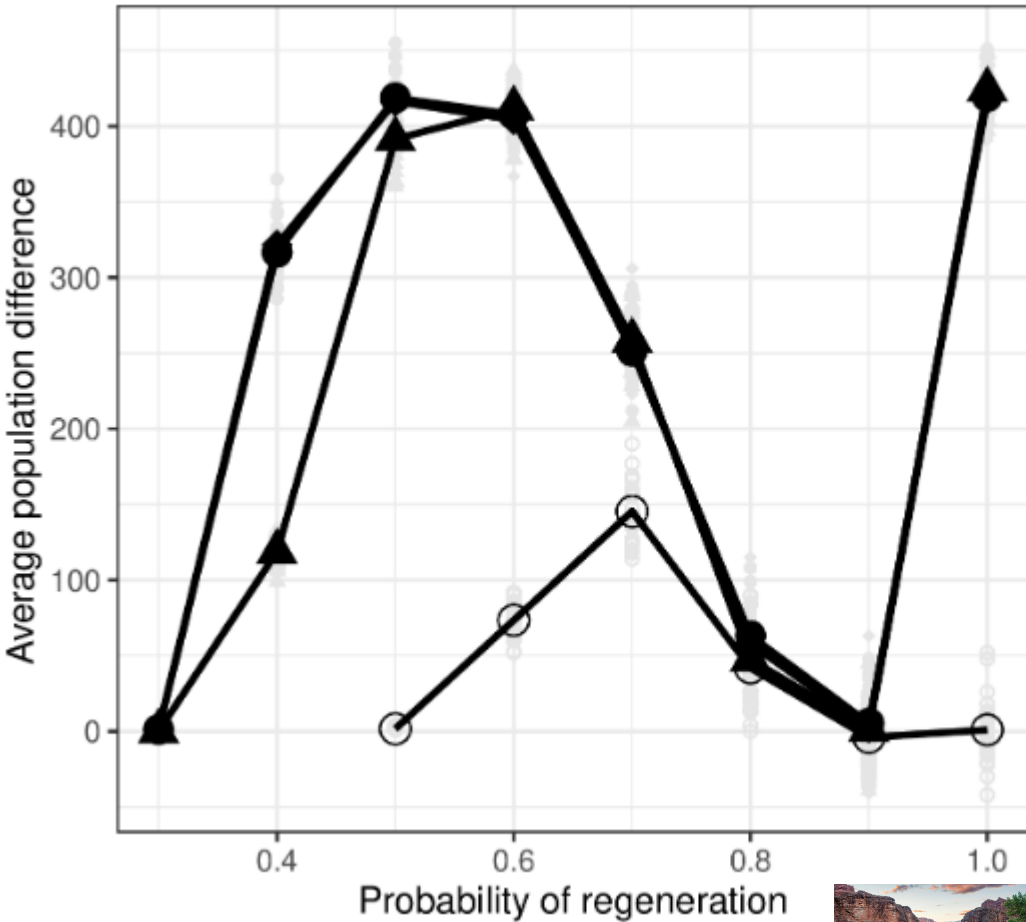
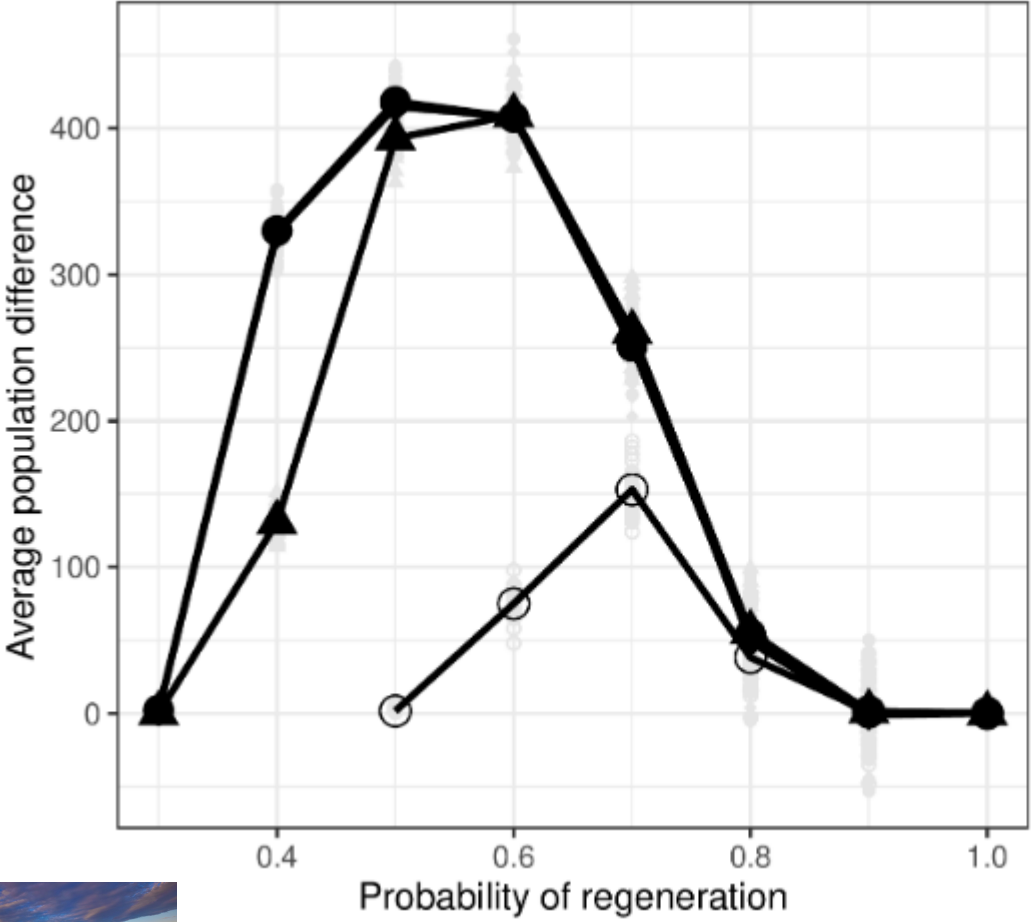


# Resultados

S4 : No se mueven, sí perciben, sí comen

S4\_A\_diff\_pop

S4\_B\_diff\_pop



A: Sin preferencia por tipo de alimento

B: Preferencia por alimento "richer"

- accumulation limit
- 105
  - ▲ 15
  - ◆ 55
  - 6



# Resultados

- Cuando se usan estrategias estáticas (“sedentarismo”), los agentes que tienen una acumulación extra, aunque sea pequeña, obtienen una ventaja ecológica: mayor cantidad de agentes (en promedio).
- Esta ventaja aparece desde probabilidades de regeneración bajas hasta las intermedias y disminuyendo hasta cero (sin diferencias con los de acumulación 5) conforme crece dicha probabilidad.

# Resultados

- Los resultados promediados son muy similares para agentes generalistas (A) y especialistas (B) cuando las estrategias de acción no involucran movimiento. Sin embargo, los resultados obtenidos de los agentes generalistas tienen una mayor varianza.
- Cuando la regeneración de recursos es segura o casi segura (1.0 y 0.9) no existen diferencias entre agentes con acumulación de 5 o límites mayores... A excepción de: agentes B (especialistas en “richer”) con estrategia S4 (No se mueven, sí perciben, sí comen).

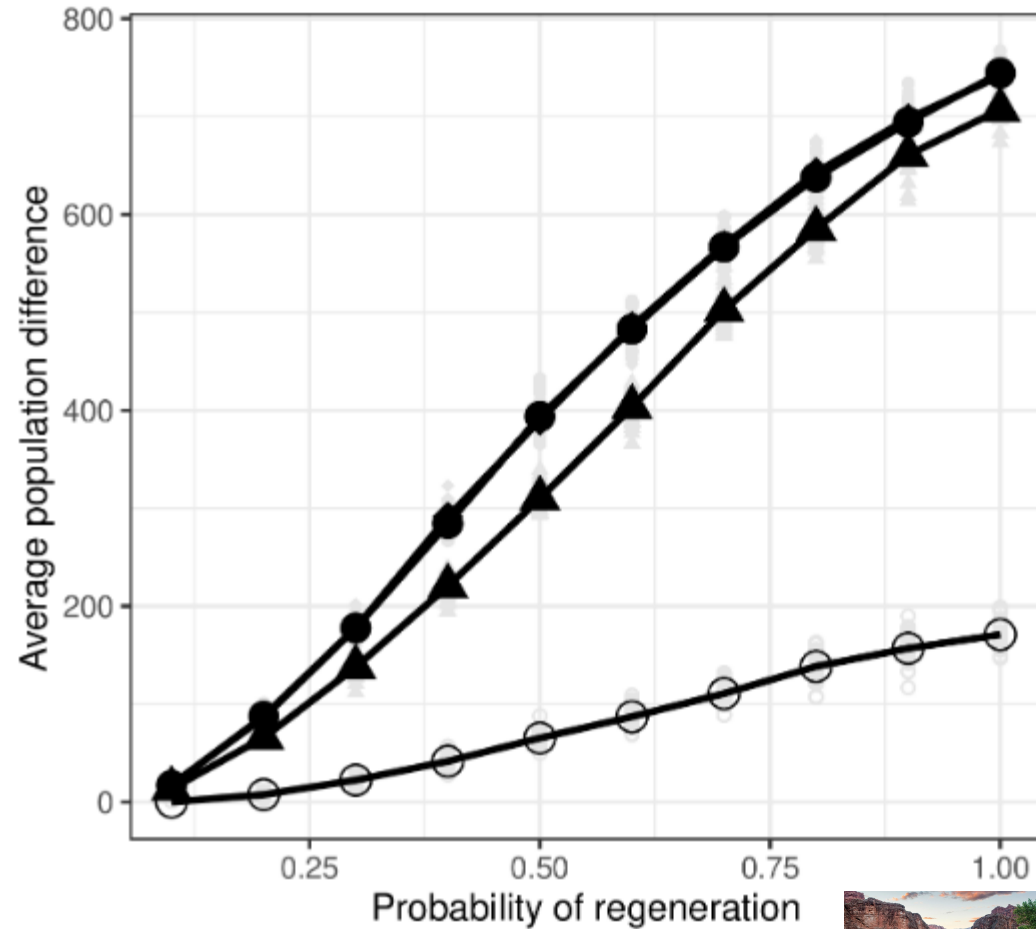
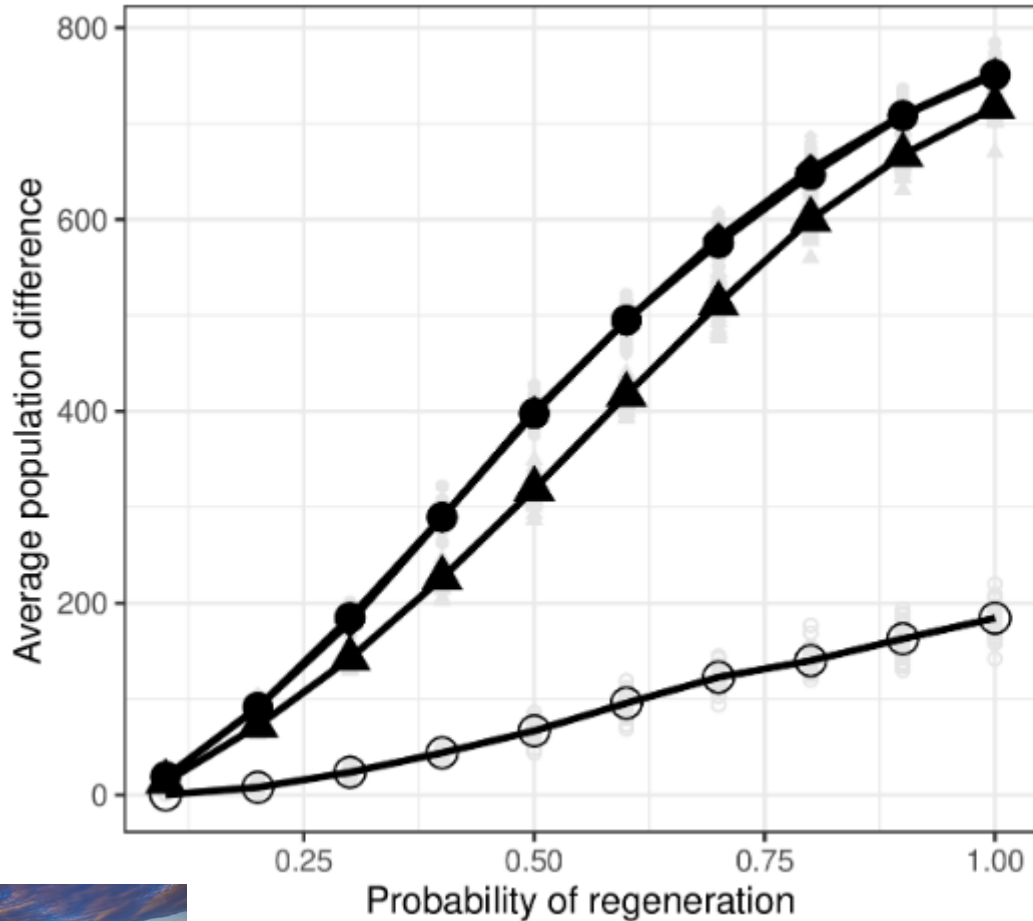


# Resultados

S6 : Sí se mueven, no perciben, sí

S6\_A\_diff\_pop  
comen

S6\_B\_diff\_pop



A: Sin preferencia por tipo de alimento

B: Preferencia por alimento "richer"

accumulation limit

- 105
- ▲ 15
- ◆ 55
- 6



# Resultados

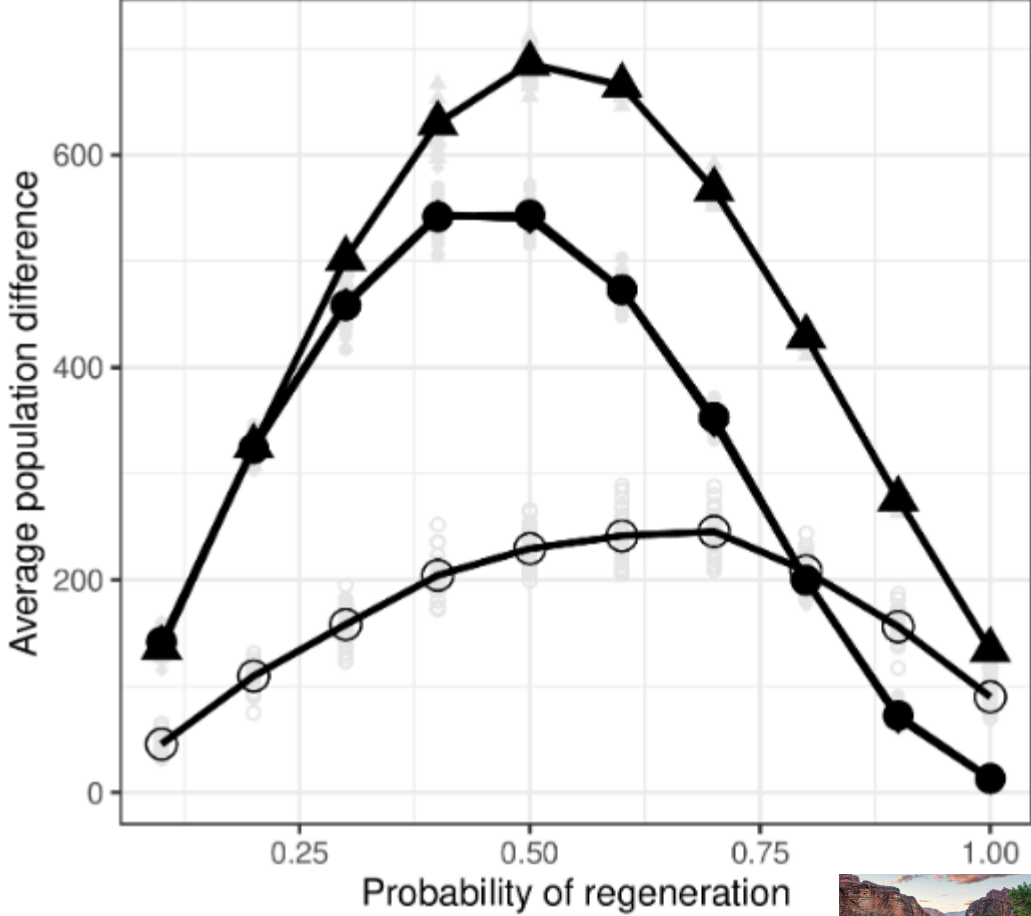
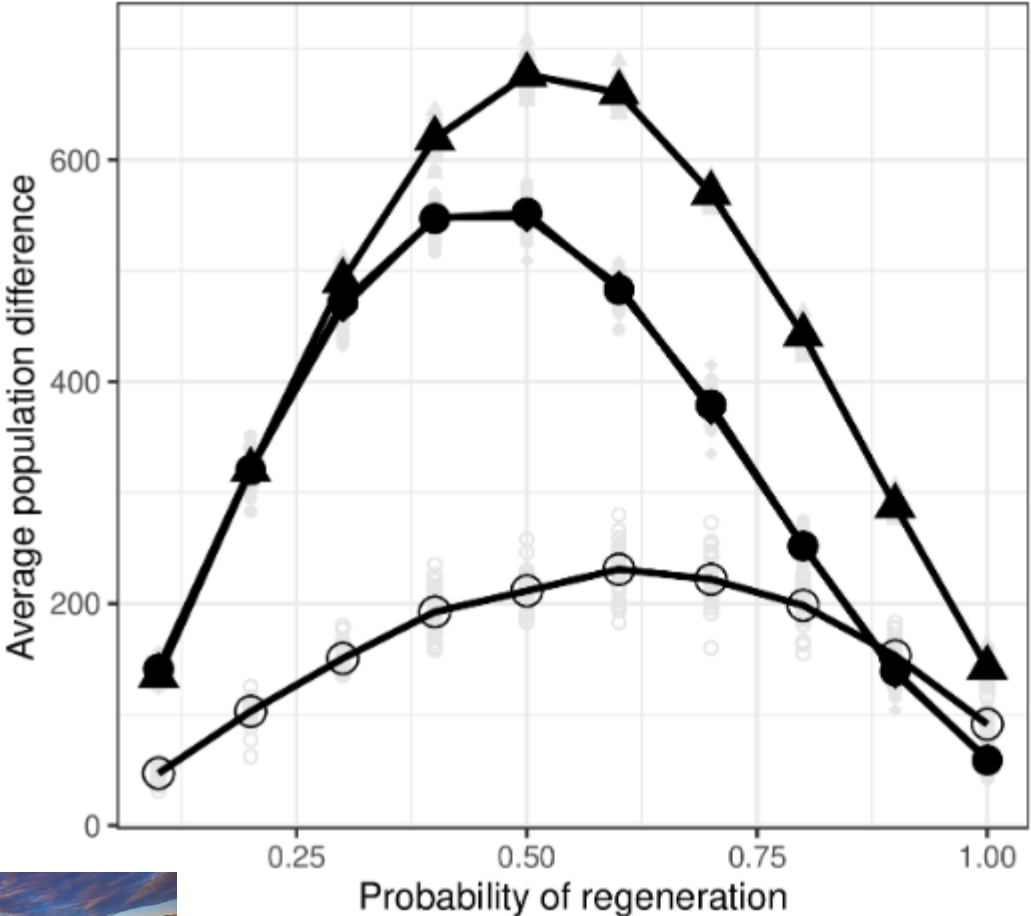
- Cuando los agentes tienen capacidad de movimiento pero sin percepción activa de sus alrededores (S6) la ventaja producida por una acumulación más grande se incrementa de forma gradual conforme la probabilidad de regeneración crece. Si el extra de acumulación es mayor, la curva sigue el mismo comportamiento pero crece más rápido.
- Para los agentes con los mayores límites de acumulación, la diferencia promedio de poblaciones se acerca a 800, lo que significa que la población que acumula más sobrevive (casi) en su totalidad mientras los otros agentes (casi) se extinguen.

# Resultados

- No hay una diferencia aparente en las gráficas para agentes generalistas y las de los especialistas. Esto es esperado, pues la ventaja de distinguir un alimento más nutritivo y dirigirse a éste requiere ser capaz de percibir el entorno próximo.

# Resultados

S8 : Sí se mueven, sí perciben, sí comen



A: Sin preferencia por tipo de alimento  
B: Preferencia por alimento "richer"

accumulation limit  
● 105  
▲ 15  
◆ 55  
○ 6



# Resultados

- Cuando la estrategia de los agentes incluye movimiento constante y percepción del entorno (S8) la ventaja de la acumulación extra siempre es positiva. Ésta crece conforme la probabilidad de regeneración crece hasta llegar a un punto máximo y después comienza a reducirse.
- El punto donde ocurre el máximo depende del valor del extra de acumulación, corriéndose hacia valores más grandes de probabilidad de regeneración conforme decrece el extra.

# Resultados

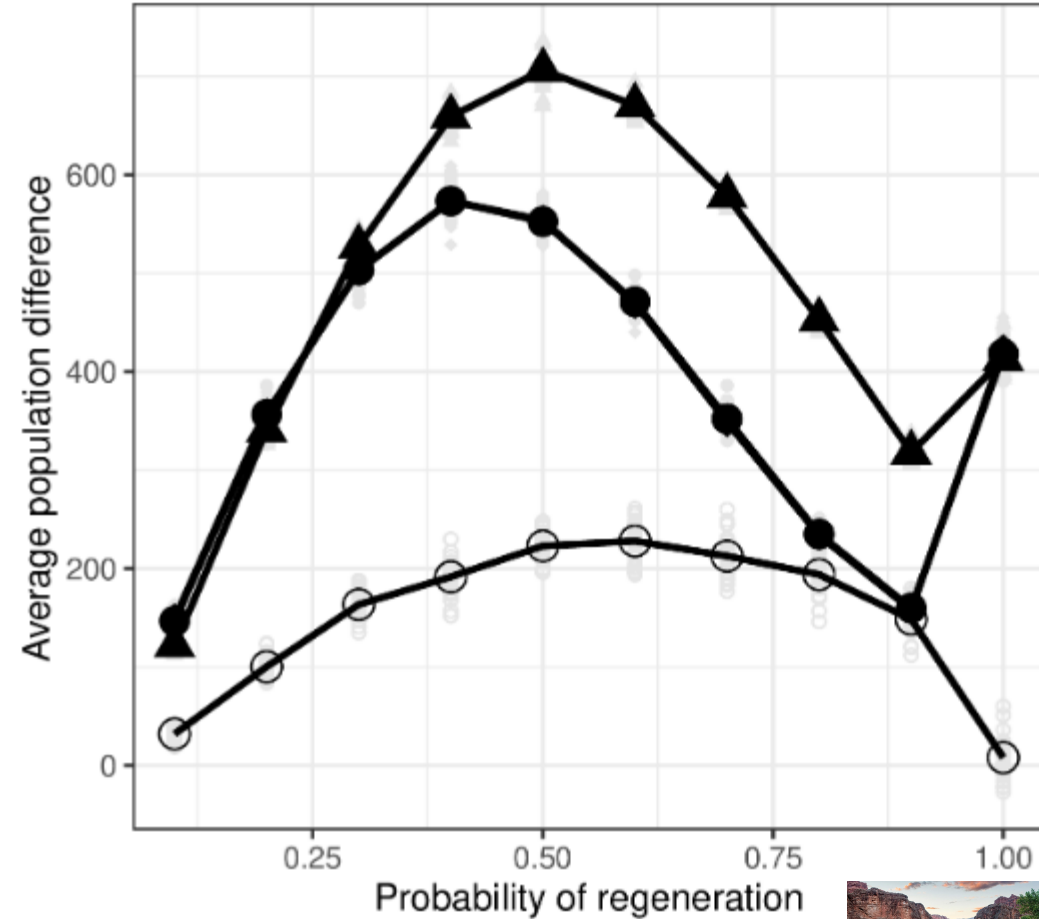
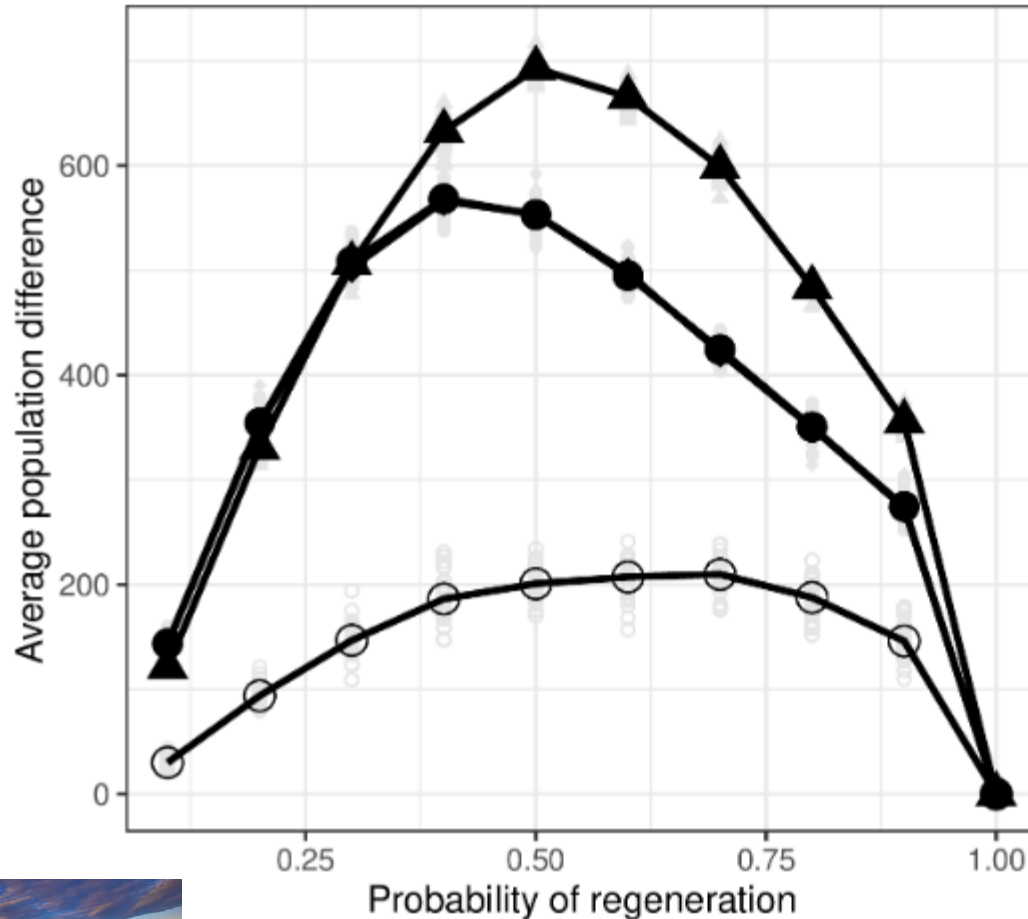
- El resultado menos intuitivo de este experimento es que la ventaja que otorgan los límites de acumulación más altos (55 y 105) están por debajo de la ventaja de un límite intermedio pero menor (15). Para los valores más altos de probabilidad de regeneración, la ventaja de los valores de acumulación altos es incluso más baja que la generada por el valor de acumulación más bajo (6).
- La caída en la ventaja ecológica de los agentes con mayor acumulación se acentúa si los agentes son especialistas.



# Resultados<sup>9</sup> : Perciben su entorno y se mueven solamente si hay alimentos disponibles, luego se lo comen

S9\_A\_diff\_pop

S9\_B\_diff\_pop



A: Sin preferencia por tipo de alimento

B: Preferencia por alimento "richer"

accumulation limit

- 105
- ▲ 15
- ◆ 55
- 6





# Resultados

- Los resultados de agentes con estrategia S9 son similares a los de la estrategia S8.
- La diferencia entre ambos resultados es que cuando los agentes no tienen preferencia por alimentos más energéticos; la ventaja de una mayor acumulación se vuelve cero en el escenario de completa regeneración de recursos. Cuando los agentes buscan activamente alimentos más energéticos, la ventaja crece súbitamente cuando la probabilidad de regeneración pasa de 0.9 a 1.0, con la excepción de aquellos agentes que tienen un extra de acumulación muy pequeño (6).

# Discusión

Can a "thrifty gene" lead to obesity without a "glutton gene" and a "sloth gene"?

<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1720595/v1>

La estrategia de Agentes B (preferencia por alimentos con mayor energía) en la mayoría de los escenarios explorados genera una ventaja ecológica incrementando su población mientras la probabilidad de regeneración es baja-intermedia.

# Discusión

Los casos donde los agentes tienen una ventaja ecológica son los siguientes:

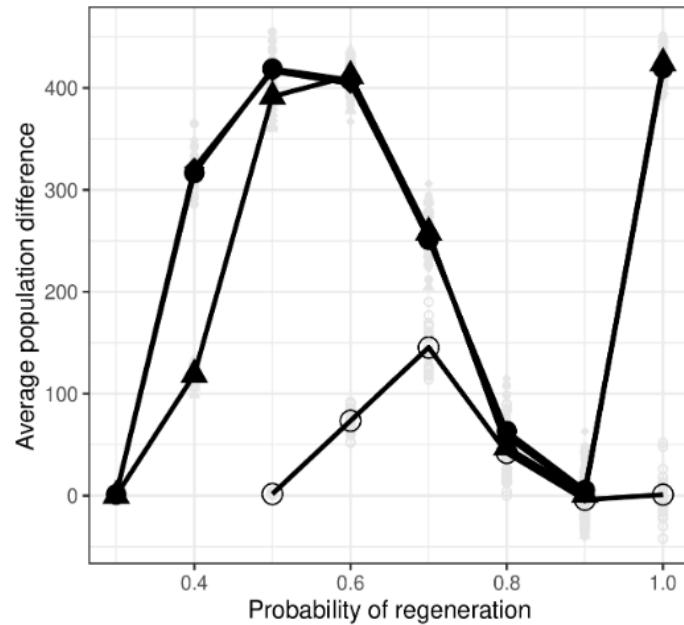
- Cuando los agentes no se mueven, pero tienen gastos adicionales de percepción y la regeneración de recursos es segura. La causa de esta ventaja se sitúa en los agentes con muy poca capacidad de acumulación, para los cuales la carga de un costo energético de percepción y de identificación de alimentos es demasiado alta, y sus poblaciones disminuyen.

# Discusión

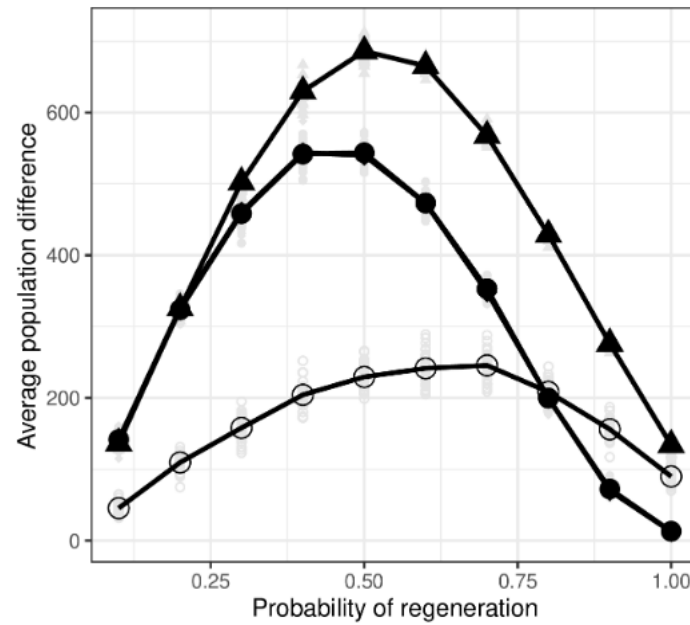
- Cuando los agentes se mueven condicionalmente a lo que perciben en su entorno (S9) y la regeneración de recursos es segura.
- En este escenario los agentes no se mueven o sólo lo hacen cuando perciben alimentos disponibles, ahorrando el costo del desplazamiento y favoreciendo su incremento poblacional

B: Preferencia por alimento "richer"

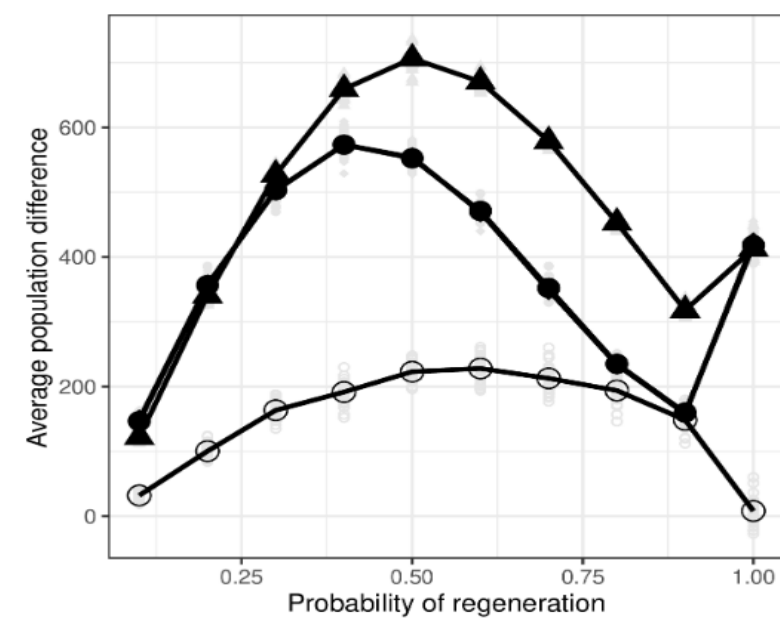
S4\_B\_diff\_pop



S8\_B\_diff\_pop



S9\_B\_diff\_pop



accumulation limit

- 105
- ▲ 15
- ◆ 55
- 6



S4 : No se mueven, sí perciben, sí comen

S8 : Sí se mueven, sí perciben, sí comen

S9 : Perciben su entorno y se mueven solamente si hay alimentos disponibles, luego se lo comen



# Conclusiones

En general, los agentes estáticos (“sedentarios”) que acumulan más energía tienen una ventaja ecológica (incremento poblacional) vs los de acumulación limitada

La ventaja de acumulación de energía siempre es positiva para los agentes con movimiento constante y percepción del entorno (S8); ésta crece conforme la probabilidad de regeneración crece hasta llegar a un punto máximo y después comienza a reducirse

La estrategia de preferir alimentos más energéticos fomenta que los agentes tipo S9 y ser sedentarios sea lo mejor cuando hay completa disponibilidad de alimentos.



# Perspectivas

Incluir escenarios que involucren el impacto de eventos de hambruna tanto predecibles (pe. estacionales) como no predecibles (hambrunas, catástrofes y cataclismos)

Crear un modelo computacional humano

Diseñar experimentos en humanos





**Gracia**

# Modelado de escenarios basado en agentes para explorar el genotipo ahorrador

José Darío Martínez-Ezquerro\*,\*\*, Jesús Erasmo Batta\*\*,  
Christopher Stephens\*\*

\* Unidad de Investigación Epidemiológica y en Servicios de Salud, Área Envejecimiento (UIESSAE),  
Centro Médico Nacional Siglo XXI, Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)

\*\* C3-Centro de Ciencias de la Complejidad, Universidad Nacional Autónoma de México

[jdme@ciencias.unam.mx](mailto:jdme@ciencias.unam.mx) <https://orcid.org/0000-0002-2609-4207>



<https://scholar.google.com/citations?user=bFedbEsAAAAJ>