

**Nicolás Javier Pantazis, Padrón 85977**

Lineamientos para el Informe:

1. El informe debe contener al menos las siguientes secciones: Resumen, Introducción, Presentación del modelo, Resultados y Conclusiones.
2. En el informe hay que describir el modelo propuesto por el trabajo, resaltando el aporte del trabajo sobre lo existente, para luego mostrar resultados de simulaciones y análisis correspondientes.
3. El informe puede tener entre 12 y 20 páginas aunque dependiendo el formato esto es flexible.

## **Resumen**

En el reino animal, grupos de predadores practican estrategias colectivas para optimizar la cacería de presas. En este trabajo se analiza el efecto de compartir información sobre la ubicación de presa sobre la eficiencia de la cacería.

Este comportamiento puede potenciar o debilitar la obtención de alimento de un predador individual. El objetivo del trabajo en cuestión es medir la eficiencia de la frecuencia en que se encuentra la presa y se consume.

Matthieu Barbier y James R. Watson validan un modelo matemático, de este sistema dinámico, con una técnica de simulación llamada Agent Based Model (ABM).

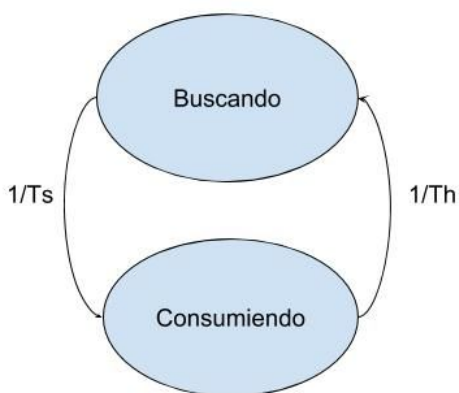
El modelo analítico explica las acciones del predador en un diagrama de estados discreto que, junto con las simulaciones de ABM, identifican las condiciones en donde compartir información es benévolo o contraproducente.

## Introducción

### Diagrama de estados

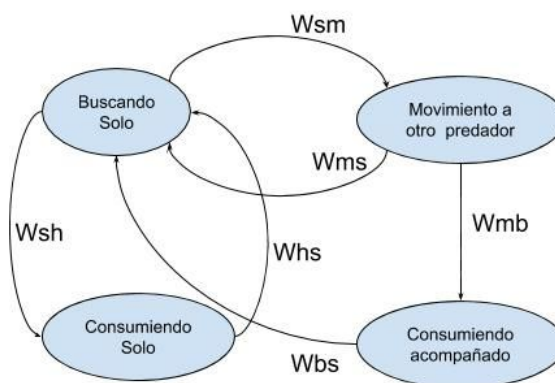
#### Caso 1)

Un diagrama de estados simple describiendo el comportamiento de un predador solo que no comparte información y su interacción con las presas.



#### Caso 2)

Un diagrama de estados simple describiendo el comportamiento de predadores que comparten información y su interacción con las presas.



En el trabajo se modelan estos diagramas de estados simulando las presas y predadores, contemplando el comportamiento general, el factor espacial y compartir información entre otros. Básicamente los autores utilizan dos modelos del tipo Agent Based Model (ABM) para simular un sistema dinámico reducido y usan los resultados de la simulación para estimar ciertos parámetros del modelo matemático descrito a continuación.

Lo implementan con las siguientes ecuaciones y notación:

#Fórmulas Comunes a ambos paradigmas compartiendo o no información entre predadores.

$h$  = Cantidad de predadores actualmente consumiendo presa

$s=1-h$  = Proporción de predadores buscando presas

$T_s$  = Tiempo que tarda un predador hasta encontrar presa

$T_h$  = Tiempo que tarda un predador a volver a buscar presa

$1/T_s$  = La proporción de tiempo que tarda un predador hasta encontrar presa

$1/T_h$  = La proporción de tiempo que tarda un predador a volver a buscar presa

Para el modelo de predador solitario es necesario considerar los siguientes parámetros:

$$\frac{s}{T_s} = \frac{h}{T_h}$$

$H$  = Proporción de consumición de presa por unidad de tiempo.

$H^*$  = Proporción de consumición de presa máxima por unidad de tiempo. Caso cuando  $s = 0$  lo que indica presa abundante.

$$\text{Proporción de Consumición} = \frac{1}{1 + \frac{T_s}{T_h}} = \frac{H}{H^*}$$

Para el modelo que comparte información es necesario considerar nuevos parámetros y modificar algunos existentes:

#Fórmulas Predadores que comparten información

$T_l$  = Tiempo hasta que las presas pueden ser consumidas hasta que se reubican

$T_d$  = Tiempo en que un predador desplaza hacia otro

Los autores consideran que existen dos parámetros que controlan el beneficio y costo de compartir información. El primero es  $N$  el número de predadores en una determinada zona y el segundo factor es la predisposición que tiene un determinado predador para compartir la ubicación de presa encontrada. Los denotamos como:

$\lambda$  = Predisposición de compartir información de un predador

$N$  = Número de predadores cazando en la misma área

$m$  = Número de predadores desplazándose hacia un predador que encontró presa

$b$  = Número de predadores que llegan al predador que encontró presa

$$\text{Proporción de Consumición} = h + b = \frac{H}{H^*}$$

$W_{sh}=1/T_s$  = Proporción de tiempo en que un predador solitario encuentra y empieza a consumir presa

$W_{sm} = N \cdot \lambda \cdot s \cdot W_{sh}$  = Proporción de tiempo en que un predador solitario recibe la ubicación del predador que encontró presa.

$W_{mb} = 1/T_d$  = Proporción de tiempo hasta que un predador solitario llega al predador que publicó la ubicación de presas.

Por último definen:

$W_l$  = Proporción del tiempo en que el predador es interrumpido mientras consume presa, que puede ser porque el grupo de presas se consumió por completo o porque las presas se reubicaron.

Esta proporción define las transiciones de cualquier estado anterior del predador a volver a la búsqueda de presa, por lo tanto se deduce que:

$$W_{hs} = W_{ms} = W_{bs} = W_l$$

$n_p$  = número de predadores consumiendo el mismo grupo de presas simultáneamente. Esta cantidad es clave en el análisis y depende de la distribución espacial en un momento dado. La denotan con una función partida.

$$n_p \approx \{N \text{ si } \lambda \rightarrow 1\}$$

$$n_p \approx \left\{ \left(1 + \frac{b}{h}\right) \text{ si } \lambda \ll 1 \right\}$$

de aquí se deriva la ecuación de  $W_l$ :

$$W_l = \frac{1}{T_l} + \frac{n_p}{T_h}$$

Ahora que describimos todos los estados y como se transiciona de uno a otro, podemos inferir un estado de equilibrio:

$$s(W_{sh} + W_{sm}) = h \cdot W_{hs} + m \cdot W_{ms} + b \cdot W_{bs}$$

$$h \cdot W_{hs} = s \cdot W_{sh}$$

$$m(W_{ms} + W_{mb}) = s \cdot W_{sm}$$

$$b \cdot W_{bs} = m \cdot W_{mb}$$

Y podemos reducir la expresión a una sola fórmula de  $s$  (fracción de predadores solitarios):

$$\frac{1}{T_s} (N \lambda s^2 + s) = (1 - s) W_l$$

Así como también la proporción de consumo de predadores en grupo en función de  $s$ :

$$\frac{H(T_s, T_h, T_l, N, \lambda)}{H^*} = h + b = \left( \frac{1}{T_s} + \lambda \cdot \frac{N \cdot s}{1 + T_d \cdot W_l(T_l, T_h, s)} \right) \cdot \left( \frac{1}{W_l(T_l, T_h, s)} \right) \cdot s$$

## HIPÓTESIS

Para modelar la conducta de los agentes predadores y presas, utilizamos las siguientes hipótesis:

La simulación se efectúa en un ambiente bidimensional con fronteras fijas.

En el ambiente existen  $r_{init}$  grupos de presas. Cada grupo está representado por un círculo azul de radio  $cd$  y tiene una cantidad de miembros  $patch\_population\_max$ .

Asumimos que los parches de presas permanecen inmóviles hasta que los predadores reducen la población a un porcentaje mínimo ( $patch\_population\_limit$ ). En ese momento, el parche se reubica aleatoriamente e instantáneamente en el recinto y la población se restablece al valor  $patch\_population\_max$ .

Representamos los predadores con círculos rojos y cada uno dispone de una velocidad con la que se mueven en la zona con velocidad  $mf$ .

Asumimos que, cuando los predadores buscan se mueven al azar tratando de encontrar parches de presas.

Cuando se intersectan los círculos de predador y presa, el predador comienza a consumir a razón de  $consumption\_rate$  presas por ciclo de simulación, y comunica al otro predador que encontró a la presa. Permanece consumiendo hasta que el parche de presas se desplace.

El otro predador recibe la comunicación y se traslada en la dirección del predador que encontró la presa, también con velocidad  $mf$ . Una vez que su círculo de búsqueda intersecta al parche de presas se detiene y empieza a consumir. Se asume que la comunicación de un predador llega siempre a los demás predadores (no hay distancia máxima).

Si, en el mismo paso de simulación, los predadores encuentran independientemente un parche de presas, permanecen consumiendo sus respectivas presas.

## Implementación

Utilizamos un modelo de simulación basada en agentes (ABM:Agent Based Model) para estudiar los efectos de la transmisión de información entre predadores.

Los modelos basados en agentes tienden a ser más dinámicos y realistas que los modelos basados en ecuaciones, ya que las conductas de los agentes discretos individuales tienden a dar mayor variabilidad en los resultados.

Sin embargo, para grandes cantidades de agentes, el costo computacional de la simulación basada en agentes es excesivo y es necesario utilizar modelos basados en ecuaciones.

Aún en este contexto los modelos basados en agentes se utilizan para **estimar** los parámetros de los modelos basados en ecuaciones.

En la simulación existe una variable booleana la cual indica si se compartirá información o no entre los predadores (*sharing*).

Utilizamos sólo dos predadores en el modelo porque es suficiente para observar los efectos de compartir información entre predadores. Utilizar gran cantidad de predadores dificulta la interpretación de los resultados y aumenta la complejidad computacional, siendo más eficientes los modelos basados en ecuaciones.

Para modelar la conducta de los agentes predadores utilizamos un modelo de conducta de cuatro estados.

1. Buscando solo
2. Consumiendo solo
3. Trasladándose hacia predador que encontró la presa.
4. Consumiendo con el predador que encontró la presa.

Para simular el ABM utilizamos un script de tercero (*pycxsimulator.py*) que fue introducido en el capítulo de ABM's del libro de Hiroki Sayama, Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. Este script nos permite definir e incorporar una clase dinámica definida en python y agregarle la mecánica de pasos de simulación. Funciona de la siguiente manera, se

debe construir un objeto `pycxsimulator.GUI().start` que toma como parámetro las funciones de *inicialización* (aquí definimos las condiciones iniciales de nuestra simulación), *observe* (se dedica a mostrar gráficamente lo que pasa en la paso actual ), *update* (en esta función reside toda la lógica del comportamiento a simular de los agentes) y por último *update\_one\_unit\_time* (esta función es necesaria para ajustar la actualización del comportamiento de todos los agentes en paralelo por paso de simulación, esto lo logra utilizando una actualización asincrónica que depende de la cantidad de agentes simulados)

Utilizamos también el código ejemplo del libro de Hiroki Sayama como base para adaptar el comportamiento simulado del trabajo de Barbier y Watson, por ende los predadores los consideramos zorros y a la presa conejos. Para mantener el orden en cada paso de simulación se considera primero el movimiento del agente luego se detecta colisiones y en base a los resultados el agente cambia de estado o no. Para medir la eficiencia de cada paradigma (compartir o no información) consideramos que la mejor forma de representarlo es computando la cantidad de veces que el predador consume dividido la cantidad total de tiempo de simulación. Esto se realiza para cada zorro en particular así como la conjunta para poder evaluar en profundidad los resultados.

## Resultados

Se efectúan simulaciones siguiendo ambos diagramas de estado y se calcula el coeficiente de consumo, definido como el consumo obtenido por cada modelo dividido por el consumo máximo posible.

Para mitigar las variaciones que inevitablemente ocurren en este tipo de simulaciones, se recurre a gran cantidad de pasos y múltiples ejecuciones.

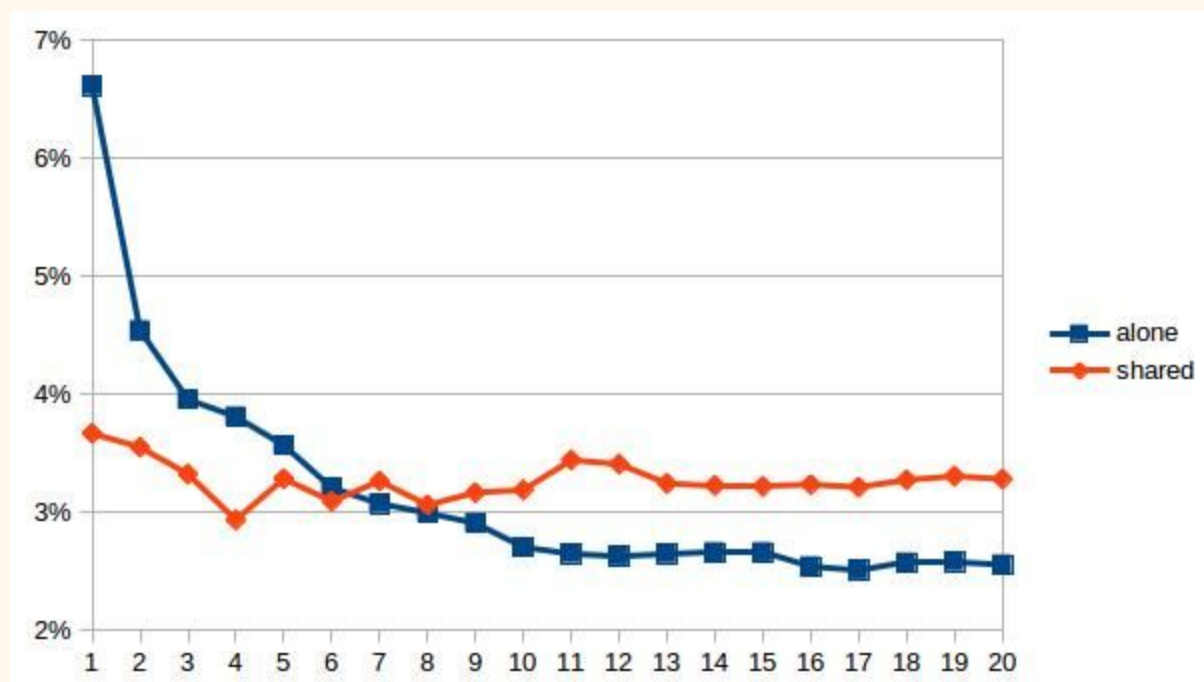
Para la primer set de corridas los parámetros utilizados fueron los siguientes:

Cantidad de ejecuciones: 6

Cantidad de valores obtenidos: 20

patch\_population\_max: 100

patch\_population\_limit: 65



Inicialmente vemos que ambos son muy distintos pero a medida de que transcurre el tiempo vemos que la búsqueda solitaria comienza a diverger mientras que la búsqueda compartiendo información es mucho más constante.



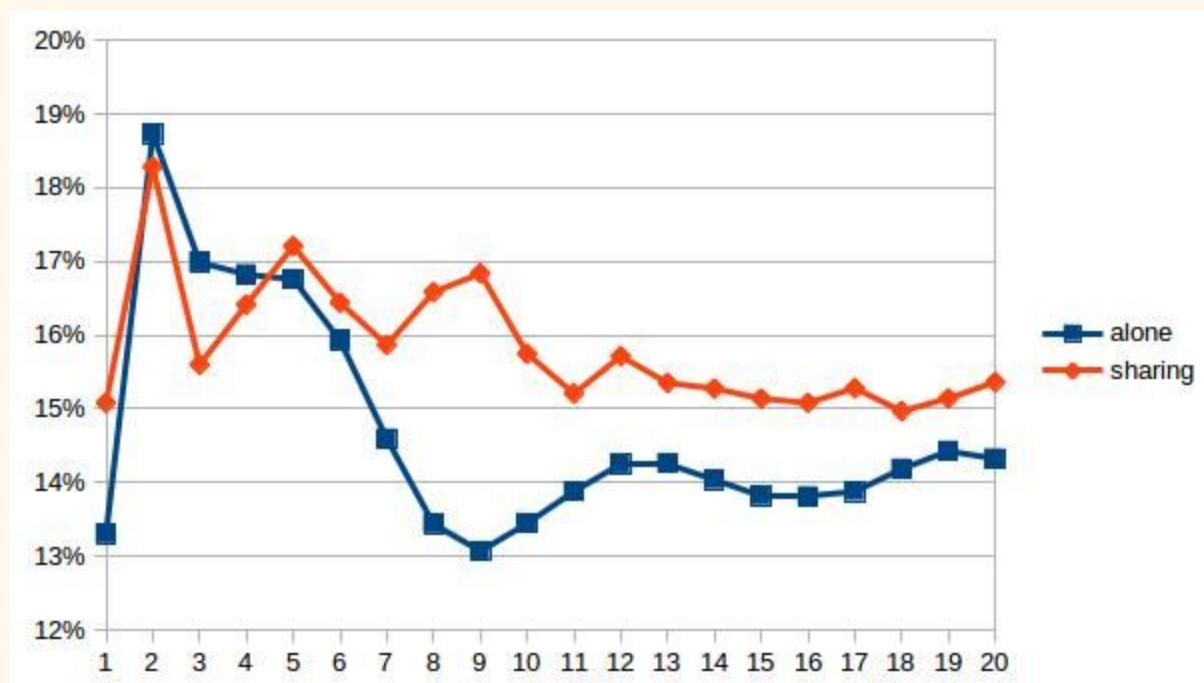
Observando en detalle los resultados vemos que los porcentajes son bajos por ende no satisfechos con un solo experimento modificamos los parámetros y realizamos otra corrida como para aumentar el consumo de los predadores.

Cantidad de ejecuciones: 6

Cantidad de valores obtenidos: 20

patch\_population\_max: 500

patch\_population\_limit: 50



## Conclusión

A partir de las hipótesis establecidas y después de varias corridas, con estos resultados llegamos a la misma conclusión que los autores del trabajo. Siempre conviene compartir información para aumentar el porcentaje de consumo de los predadores, si bien inicialmente vemos resultados muy variados, a partir de que transcurre el tiempo vemos el comportamiento equilibrado de ambos modelos y vemos la clara ventaja del modelo solidario.

## Referencias

Barbier M, Watson JR, (2016), ***“The Spatial Dynamics of Predators and the Benefits and Costs of Sharing Information”***. PLoS Computational Biology 12(10):e1005147.  
doi:10.1371/journal.pcbi.1005147.

Hiroki Sayama, (2015), ***“Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems”***. Open SUNY, ISBN: 9781942341062 OCLC: 918567125