

# Predator Prey

Jose Carlos Zambrana Navajas, Adrián Roselló Pedraza, Daniel Asensi Roch,  
Alexander Andonov Aracil, and Pedro García

<sup>1</sup> Universidad de Alicante, España

<sup>2</sup> Carretera San Vicente del Raspeig s/n 03690 San Vicente del Raspeig - Alicante  
[ua@universidad.com](mailto:ua@universidad.com)  
<https://www.ua.es/>

**Abstract.** Este trabajo presenta el desarrollo y análisis de un modelo basado en agentes para simular las interacciones entre predadores y presas, utilizando el software de simulación GAMA. Se aborda la dinámica de interacción entre estas especies, un aspecto fundamental en ecología, utilizando un enfoque innovador que incorpora heterogeneidades espaciales y de comportamiento. El modelo incluye la generación de entornos pseudo-aleatorios, representación detallada de la vegetación, y comportamientos específicos de animales basados en agentes, como depredadores y presas, así como elementos ambientales. Se investigan diversos escenarios ecológicos, como la introducción de nuevas especies o cambios en el hábitat, para examinar su impacto en la dinámica poblacional y ecológica. Este estudio proporciona insights valiosos sobre los patrones poblacionales y la estabilidad ecológica en ecosistemas complejos.

**Keywords:** Modelado Basado en Agentes · Simulación Ecológica · Predadores y Presas · Dinámicas Poblacionales · Estabilidad Ecológica · Heterogeneidades Espaciales · Comportamiento Animal · Software GAMA · Escenarios Ecológicos · Interacción Especies-Ecosistema

## 1 Introducción

La dinámica de interacción entre predadores y presas constituye una de las facetas más intrigantes y fundamentales de la ecología. Esta interacción, que balancea las poblaciones de ambas especies en un ecosistema, ha sido objeto de estudio y modelización a lo largo del tiempo, ofreciendo perspectivas cruciales sobre los patrones poblacionales y la estabilidad ecológica. Tradicionalmente, las ecuaciones de Lotka-Volterra han servido como un modelo estándar en este campo [Wan78], sin embargo, estas aproximaciones clásicas a menudo omiten aspectos esenciales como las heterogeneidades espaciales y de comportamiento que son vitales en los sistemas ecológicos reales. Con el avance de la tecnología y las ciencias de la computación, los modelos basados en agentes emergen como una herramienta poderosa para simular estas interacciones con un mayor nivel de detalle y realismo. La presente memoria aborda el desarrollo y análisis de un modelo basado en agentes para simular las interacciones entre predadores y presas, utilizando el software de simulación GAMA.

### 1.1 Objetivos

Los objetivos en el desarrollo son los siguientes:

- **Desarrollo de un Modelo Basado en Agentes:** Construir un modelo detallado que simule las interacciones entre predadores y presas en un contexto espacialmente explícito. Esto incluye consideraciones como la búsqueda de alimento, la reproducción, y la mortalidad.
- **Implementación y Análisis con GAMA:** Implementar el modelo en el software GAMA y utilizarlo para analizar cómo diversas condiciones iniciales y parámetros afectan la dinámica de las poblaciones.
- **Investigación de Escenarios Ecológicos:** Utilizar el modelo para examinar los efectos de diferentes escenarios ecológicos o de gestión, como la introducción de nuevas especies o cambios en el hábitat.

## 2 Estado del arte

Los sistemas multiagente han emergido como un área prominente de investigación dentro de la inteligencia artificial y la modelización de sistemas. Estos sistemas se componen de múltiples agentes interactivos, cada uno con capacidades individuales para percibir, actuar y tomar decisiones. Este enfoque ha encontrado aplicaciones en una variedad de campos, desde la simulación de fenómenos sociales hasta la gestión de operaciones de logística.

El entorno de simulación Gama es un hito significativo en el desarrollo de herramientas para la simulación de sistemas multiagente. Diseñado para ser altamente flexible y accesible, Gama permite a los investigadores y desarrolladores construir simulaciones complejas utilizando un lenguaje de programación de alto nivel. La característica distintiva de Gama es su capacidad para soportar modelos que incluyen grandes números de agentes y sus interacciones, proporcionando un marco eficiente para simular entornos dinámicos y heterogéneos.

Gama ha sido utilizado en numerosas aplicaciones prácticas, demostrando su versatilidad y eficacia. Estos incluyen la simulación de evacuaciones de emergencia, modelado de sistemas de transporte, y la gestión de recursos en entornos urbanos [Tai14; Kaz+23]. En cada caso, Gama ha proporcionado conclusiones valiosas, permitiendo a los investigadores y planificadores probar y refinar sus hipótesis y estrategias.

Un área particular de interés donde el entorno Gama ha demostrado ser especialmente valioso es en la simulación de ecosistemas complejos. Esto sumado a un gran interés científico [HAM14; And+16; Ndi07] a sido razón de proyectar el estudio actual sobre el Parque Nacional del Serengeti. Esta reserva natural en Tanzania es conocida por su diversa fauna y dinámicas ecológicas complejas, donde las interacciones entre diferentes especies juegan un papel crucial en el mantenimiento del equilibrio ecológico [And+16].

Utilizando Gama, nuestro proyecto modela estas interacciones, replicando el comportamiento y las estrategias de supervivencia de varias especies, tanto depredadoras como presas. Este modelo permite examinar cómo diferentes factores, como cambios en el hábitat, patrones de migración, y variaciones en las poblaciones de especies, pueden influir en la dinámica del ecosistema del Serengeti.

### 3 Desarrollo

En la fase de desarrollo de nuestro modelo, hemos aplicado la metodología de agentes BDI (Belief, Desire, Intention) [Tai+17] para la creación de un ecosistema simulado. En este contexto, los agentes principales son representados por animales, clasificados en dos categorías fundamentales: Depredadores y Presas. Además, hemos incorporado agentes ambientales clave, como el Agua, los Árboles y las Plantas, los cuales desempeñan un papel crucial en la dinámica del ecosistema.

Para capturar de manera efectiva las complejas interacciones entre estos diversos agentes, hemos desarrollado un detallado diagrama UML (Unified Modeling Language) como se muestra en la referencia 2. Este diagrama ha sido una herramienta invaluable que nos ha permitido visualizar y estructurar las relaciones y jerarquías entre los diferentes agentes, facilitando así una comprensión clara de la arquitectura de nuestro modelo.

A lo largo de los subapartados de esta sección, exploraremos en detalle cada uno de estos componentes y examinaremos su papel específico en el ecosistema modelado. Este enfoque basado en agentes BDI proporciona una sólida base teórica para la representación de la cognición de los agentes, permitiéndonos modelar de manera más realista sus creencias, deseos y acciones dentro del contexto del ecosistema simulado.

#### 3.1 Mapa

La creación del entorno en nuestro modelo ecosistémico es un aspecto fundamental para simular condiciones realistas y dinámicas que afectan tanto a los agentes vivos como a los elementos abióticos del sistema. Esta generación del entorno se realiza mediante un proceso pseudo-aleatorio basado en mapas de ruido, lo que asegura una distribución natural y orgánica de los elementos del terreno.

#### Proceso de Generación Pseudo-Aleatoria

1. **Distribución del Terreno:** Utilizamos mapas de ruido para generar el terreno de manera que refleje variaciones realistas en la topografía. Esta técnica permite crear paisajes que no son uniformemente regulares, evitando la colocación artificial de elementos del ecosistema. Un desplazamiento ligero se incorpora en la generación para evitar la alineación regular de los agentes.
2. **Elementos del Entorno:** El entorno incluye parches de agua, plantas, y árboles, cuya distribución se basa también en los mapas de ruido. La generación de estos elementos sigue un enfoque umbralizado, donde cada tipo de elemento tiene un umbral específico de aparición basado en los valores del mapa de ruido. Esto asegura que la distribución de elementos como el agua y la vegetación sea coherente con los patrones naturales.
3. **No Solapamiento de Vegetación y Agua:** Para aumentar el realismo, la generación de vegetación y cuerpos de agua se realiza de manera que no se solapen. Este enfoque refleja la separación natural que se observa en

los ecosistemas reales, donde los cuerpos de agua y las áreas densamente vegetadas raramente ocupan el mismo espacio físico.

4. **Distribución de Animales:** A diferencia de los elementos abióticos, la generación de animales permite cierto grado de solapamiento con otros elementos del entorno. La agrupación de animales en el mapa no es completamente aleatoria, sino que está influenciada por la tendencia natural de los animales de la misma especie a colaborar o formar grupos. Esto se refleja en una mayor probabilidad de que individuos de la misma especie aparezcan cerca unos de otros.

Este enfoque de generación del entorno asegura que cada simulación presente un ecosistema único, pero plausible, con distribuciones de terreno, vegetación, cuerpos de agua y fauna que reflejan las complejidades y variabilidades de los ecosistemas reales. La interacción entre estos elementos generados proporciona una base sólida para el estudio y análisis de las dinámicas ecológicas en nuestro modelo.

### 3.2 Plantas y Árboles

La generación de vegetación en nuestro modelo ecosistémico sigue un enfoque dinámico y realista. Utilizando la plataforma GAMA, definimos un entorno de “vegetación” que permite simular el movimiento de las presas y otros agentes a través de variables dinámicas.

#### Modelo de Vegetación

1. **Definición de vegetación:** La vegetación se modela como una red de celdas, cada una con variables específicas como *max\_food*, *food\_prod*, y *food*, que determinan la cantidad de comida disponible en cada celda. Estas celdas también tienen un color que varía según la cantidad de comida, proporcionando una visualización intuitiva de la disponibilidad de recursos.
2. **Tipos de Árboles:** Dentro de esta red, incorporamos tres tipos de árboles:
  - Árboles Frutales: Proveen alimento en forma de frutos. Estos árboles tendrían un valor alto de *food\_prod* y *max\_food*, reflejando su capacidad para sustentar a las especies que dependen de frutos.
  - Árboles de Hoja: Ofrecen alimento en forma de hojas, adecuados para especies herbívoras. Estos árboles podrían tener un valor medio de *food\_prod* y *max\_food*.
  - Árboles Muertos: No aportan alimento, representando estructuras neutras en el ecosistema. Estos árboles tendrían un valor nulo en *food\_prod* y *max\_food*.

La generación de esta vegetación se realiza de manera pseudo-aleatoria, utilizando mapas de ruido para garantizar una distribución realista y orgánica. Esto asegura que la disposición de la vegetación y los árboles en el modelo refleje la complejidad y variabilidad de los ecosistemas naturales, proporcionando un entorno dinámico para la interacción de los agentes.

### 3.3 Comportamiento básico de los Animales

Dentro de nuestro modelo ecológico, la clase ***Animal*** actúa como la clase padre para todos los agentes animales, encapsulando comportamientos y características fundamentales que son comunes a todas las especies animales representadas. Esta estructuración en la herencia de clases asegura una base coherente y eficiente para la expansión y especialización de comportamientos en clases derivadas.

- **Paso del Tiempo y Franjas de Edad:** Un aspecto central del comportamiento de *Animal* es la gestión del paso del tiempo. Cada animal tiene un ciclo de vida que se desarrolla a través de diferentes etapas: juventud, madurez y vejez. Estas etapas están definidas por parámetros como *juniorAge*, *matureAge* y *oldAge*, los cuales determinan los cambios en las capacidades y comportamientos del animal a medida que envejece.
- **Reproducción:** La reproducción es otro comportamiento crítico implementado en la clase *Animal*. Se ha programado un mecanismo donde los animales, al alcanzar una cierta edad y bajo ciertas condiciones, tienen el deseo de reproducirse (*wantReproduce*). Este deseo desencadena comportamientos orientados a la búsqueda de pareja y la posterior reproducción, contribuyendo a la continuidad de la especie en el ecosistema.

#### Necesidades Básicas:

- **Hambre y sed:** Todos los animales contienen contadores de hambre y sed que permiten simular sus necesidades de una manera realista, y estos valores serán especificados en cada una de las especies para que se ajusten a la realidad.
- **Beber Agua:** Además de la reproducción, la supervivencia diaria de los animales depende de satisfacer necesidades básicas como la hidratación. En nuestra simulación, los animales tienen un parámetro que indica su nivel de sed y un comportamiento inherente que los impulsa a buscar agua (*drink*). Esta búsqueda de agua es crucial para su supervivencia y agrega una capa adicional de realismo a la simulación, ya que los animales deben equilibrar esta necesidad con otras actividades como alimentarse o evitar depredadores.
- **Movimiento Básico:** Este movimiento permite a los animales desplazarse en busca de recursos, parejas o para evitar depredadores. El movimiento se maneja mediante un conjunto de reglas y parámetros que simulan el desplazamiento realista en el entorno, teniendo en cuenta factores como la velocidad y la interacción con otros agentes.

### 3.4 Depredadores

En el ecosistema modelado, los depredadores como cocodrilos, leopardos e hienas juegan un rol crucial en la regulación de las poblaciones de presas y en el mantenimiento del equilibrio ecológico. Cada especie de depredador se ha modelado con características específicas, reflejando sus estrategias y adaptaciones únicas en la

naturaleza. A la hora de modelar los depredadores, hemos implementado todos aquellos comportamientos específicos de aquellos animales que cazan a otros para comer que no aplican a la clase animal, pero que a su vez son comportamientos genéricos para todos los depredadores.

Los depredadores en nuestro modelo están programados con un conjunto de comportamientos que simulan su interacción con el entorno y las presas. Estas características se describen en el código Predator, el cual detalla los siguientes aspectos:

1. Velocidad de Caza y Percepción: Los depredadores tienen una variable `huntSpeedMultiplier` que aumenta su velocidad durante la caza y una `perception_distance` que determina la distancia a la que pueden detectar a sus presas.
2. Selección de Presas: A través de la acción `choose_target_preay`, los depredadores seleccionan su presa objetivo dentro de un radio específico y de una especie que pertenezca a la lista de especies presas (`preyTargetSpecies`), priorizando a las más cercanas.
3. Control del Hambre: El reflejo `check_hunger` permite a los depredadores evaluar su nivel de hambre y decidir si deben cazar, activando el deseo `hunt_desire` y eligiendo una presa.
4. Caza y Captura: Una vez que el depredador ha seleccionado una presa y tiene la intención de cazar, utiliza el plan `hunt` para acercarse a la presa y matarla. Esto aumenta el contador `totalHuntedPrey` y cambia el estado de la presa a `dead`.
5. Alimentación: Después de cazar, los depredadores obtienen el deseo `eat_desire` y ejecutan el plan `eat`, donde consumen a su presa para satisfacer su hambre, representado por un aumento en la variable `hunger`.

Esta programación refleja las diferencias en los comportamientos y estrategias de caza de los tres depredadores principales del modelo:

- Cocodrilos: Especializados en emboscadas cerca del agua, se espera que tengan un alto `huntSpeedMultiplier` en entornos acuáticos y una percepción enfocada en presas que se acercan a beber. Estos animales pasan la mayor parte del tiempo en el agua.
- Leopardos: Con su habilidad para camuflarse y acechar, los leopardos en el modelo utilizan su `perception_distance` de manera eficaz para detectar presas desde una distancia segura, luego acercarse sigilosamente y, por último, haciendo uso de su elevada `huntSpeedMultiplier` persiguen a su presa hasta darle caza. Sin embargo, cuando si al cazar a la presa hay hienas cerca, huye para evitar encuentros donde son sobrepasados en número y podrían perder la vida.
- Hienas: Como cazadoras oportunistas, las hienas en el modelo tienen un enfoque carroñero, aprovechando los restos de presas dejados por otros depredadores.

Además, cada una de estas especies tienen redefinidos todos los atributos necesarios de la clase Animal para representar correctamente sus características,

como son *juniorAge*, *matureAge*, *oldAge* para controlar el ciclo de vida; *gestationTime* y *numberOfChilds* para controlar la reproducción; *hungerReduction* y *thirstReduction* para controlar el tiempo sin comer y beber de cada uno; y *preyTargetSpecies* para indicar qué tipo de especies van a cazar.

Cada uno de estos depredadores ha sido cuidadosamente integrado en el modelo para reflejar su impacto en la dinámica poblacional y en la estructura trófica del ecosistema. Su interacción con las presas y otros elementos ambientales proporciona una comprensión más profunda de los complejos equilibrios en los ecosistemas naturales.

### 3.5 Presas

En el ecosistema modelado, las presas como antilopes, girafas y babuinos se sustentan de las plantas y arboles. Así mismo, son el alimento de los depredadores y por tanto su comportamiento debe de evitarlas o huir de ellos. Al igual que los depredadores se han modelado con características concretas para reflejar sus estrategias y adaptaciones únicas en la naturaleza. A la hora de implementar las presas algunas tienen comportamientos específicos del animal que representan, que se modelan a parte, pero las características que comparten entre todas las presas como escapar del depredador o comer plantas. Estas características se describen en el código *Prey*, el cual detalla los siguientes aspectos:

1. Selección de comida: A través de la acción *choose\_target\_plant*, las presas seleccionan la planta con la que se van a alimentar dentro de un rango y que pertenezcan a la clase plantas, priorizando las mas cercanas.
2. Control del Hambre: se sobre escribe de la clase animal para que pueda seleccionar plantas.
3. Alimentación: Después se acercan a la planta y ejecutan el plan ***eat\_grass***, donde comen de la planta.
4. Escapar: todas las presas escapan de cualquier depredador que se acerque a una distancia de 20 mediante el plan *escaping* y ,que el depredador, este en modo de caza.

Esta programación refleja las diferencias en los comportamientos y estrategias de caza de los tres depredadores principales del modelo:

- Antilope: son la clase presa en su estado más básico.
- Girafa: En vez de comer plantas tiene la función ***eat\_grass*** modificada para que coma de árboles.
- Babuino: los babuinos tiene un comportamiento especial en el cual se mueven alrededor de los arboles con fruta para simular que viven en los arboles, esto lo logran mediante la función ***choose\_home***, ***asking\_home*** y la modificación del plan ***wander*** para permitir dicho movimiento. A demás, los babuinos comen tanto plantas como árboles.

A todas las presas se le han redefinido todos los atributos necesarios de la clase *Animal* para representar sus características, al igual que los depredadores. A demás, que cada especie ha sido cuidadosamente integrada en el modelo para que su impacto en la dinámica poblacional y en la estructura trófica del ecosistema.



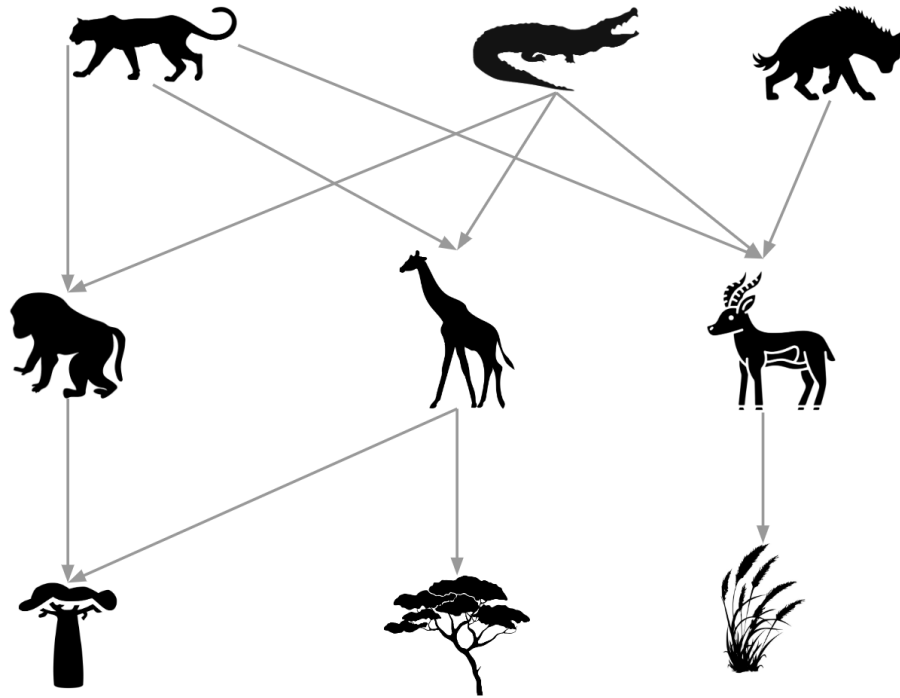
### 3.6 Cadena Alimenticia

La cadena alimenticia, ilustrada en la imagen 1, demuestra las interacciones tróficas de un ecosistema bien estructurado. En la jerarquía más alta se encuentran los depredadores, representados por el leopardo y el cocodrilo, que ocupan el rol de consumidores terciarios dentro de esta red alimentaria. Se les observa como predadores de varias especies: el leopardo predando cualquier especie por debajo de él, al igual que el cocodrilo, lo cual indica un comportamiento de depredación que puede variar según la disponibilidad y la oportunidad.

En un nivel trófico intermedio, las hienas, las cuales desempeñan un papel carroñero dentro del ecosistema, consumiendo los restos de los antílopes dejados por los leopardos tras la caza.

Las jirafas, babuinos y antílopes, por su parte, se destacan como herbívoros que consumen vegetación y actúan como un enlace esencial entre los productores y los consumidores de mayor nivel.

En la base de la pirámide trófica se encuentran los árboles y las plantas, que son los productores primarios.



**Fig. 1.** Esquema depredador y presas: Cadena alimenticia

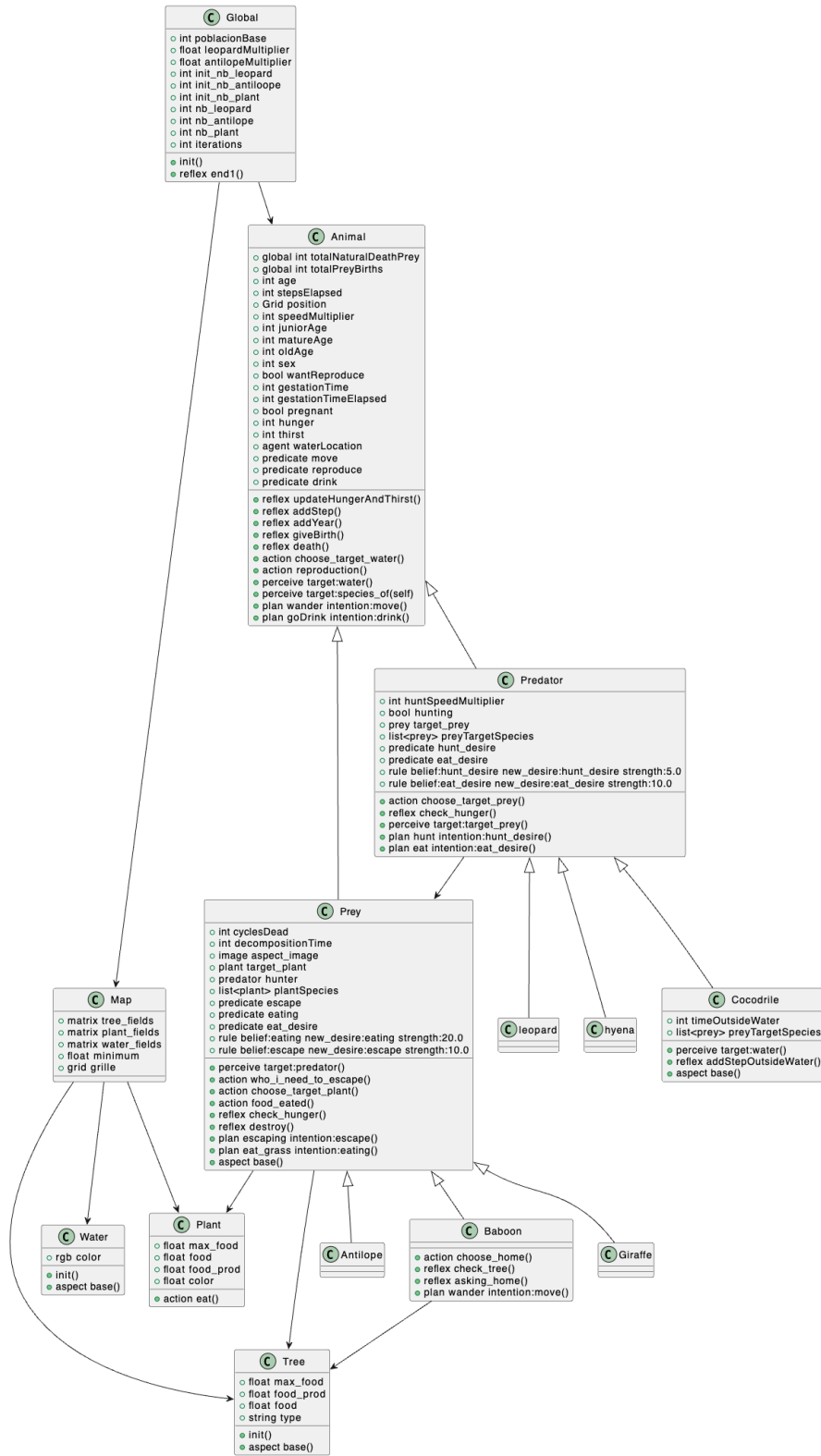


Fig. 2. Diagrama UML de las clases que aparecen en el proyecto.

## 4 Experimentación

### 4.1 Descripción de Experimentos

Estos experimentos se enfocan en examinar el impacto de diferentes variables ecológicas, como la introducción de nuevas especies, cambios en el hábitat, y variaciones en las tasas de reproducción. Con el objetivo de obtener un ecosistema sostenible para poder realizar análisis posteriores sobre el comportamiento de los animales.

### 4.2 Metodología de Experimentación

Cada experimento se configuró con un conjunto específico de parámetros en el modelo. Se realizaron ajustes en las tasas de reproducción, mortalidad, y otros parámetros ecológicos para simular diferentes condiciones ambientales y analizar sus efectos en la dinámica de las poblaciones.

### 4.3 Resultados y Análisis

Los resultados se presentan en forma de gráficos y tablas (ver Figura 3). Se observó que variaciones en ciertos parámetros tenían un impacto significativo en las poblaciones de predadores y presas. Por ejemplo, un aumento en la tasa de reproducción de las presas condujo a un incremento en la población de predadores a largo plazo. Se ha utilizado el algoritmo Particle Swarm Optimization [KE95] para estimar la población inicial de cada especie de animal.

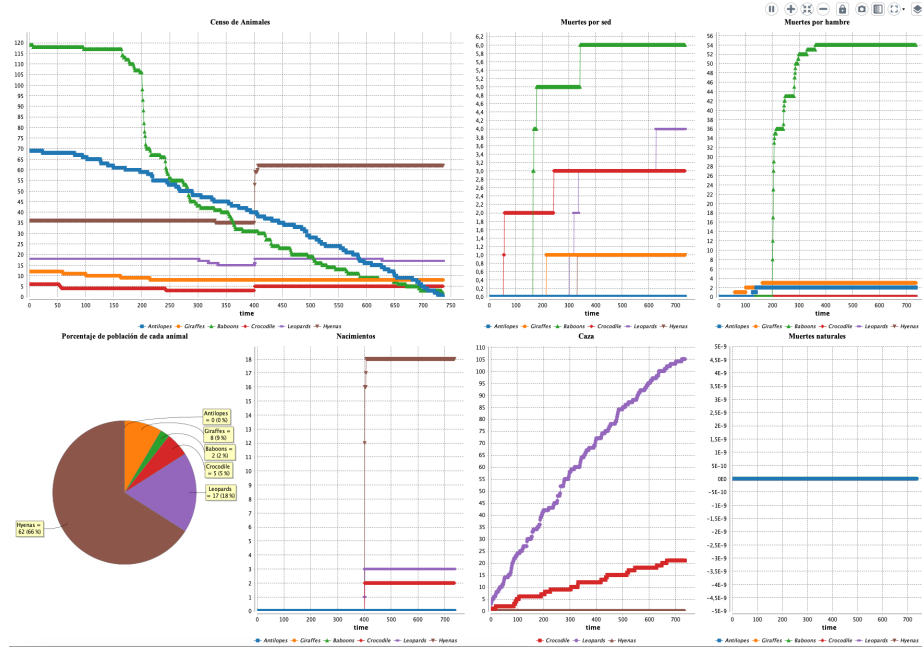


Fig. 3. Interfaz para el análisis de la simulación.

#### 4.4 Conclusiones de la Experimentación

Se concluye que el modelo es capaz de simular y comprender la compleja dinámica de las interacciones entre predadores y presas durante un periodo de 800 horas. Los experimentos aportan nuevos *insights* sobre cómo diferentes factores de diseño de los agentes DBI afectan estas interacciones.

#### 4.5 Futuras Direcciones de Investigación

Finalmente, se sugieren direcciones futuras para la investigación, incluyendo la expansión del modelo para incluir más variables ecológicas y la realización de experimentos adicionales para explorar otros aspectos de la dinámica de ecosistemas.

### 5 Conclusión

En este estudio, hemos desarrollado y analizado un modelo de simulación para investigar las complejas interacciones entre predadores y presas utilizando el software GAMA. Los experimentos realizados han demostrado la capacidad del

modelo para replicar y explorar dinámicas ecológicas significativas. Los resultados obtenidos reflejan cómo variaciones en factores como la tasa de reproducción, mortalidad y cambios en el hábitat pueden influir en las poblaciones de predadores y presas.

Hemos observado que cambios sutiles en el ecosistema pueden tener efectos a largo plazo en la dinámica de poblaciones, lo que resalta la importancia de una gestión ecológica cuidadosa y la necesidad de estudios más detallados en este campo. Además, el modelo ha mostrado ser una herramienta valiosa para predecir las consecuencias de intervenciones humanas y naturales en ecosistemas complejos.

Este trabajo no solo contribuye a nuestra comprensión científica de las relaciones predador-presa, sino que también ofrece una base sólida para futuras investigaciones. Se recomienda expandir este estudio para incluir más variables ecológicas y realizar simulaciones en diferentes tipos de ecosistemas para obtener una visión más completa de las interacciones ecológicas.

En conclusión, el modelo de simulación presentado en este estudio proporciona un medio eficaz para explorar y entender las interacciones entre predadores y presas, y tiene el potencial de ser aplicado en una variedad de contextos ecológicos y de conservación.

## References

- [Wan78] Peter J Wangersky. “Lotka-Volterra population models”. In: *Annual Review of Ecology and Systematics* 9.1 (1978), pp. 189–218.
- [KE95] James Kennedy and Russell Eberhart. “Particle swarm optimization”. In: *Proceedings of ICNN’95-international conference on neural networks*. Vol. 4. IEEE. 1995, pp. 1942–1948.
- [Ndi07] Vedasto Gabriel Ndibalema. “Demographic variation, distribution and habitat use between wildebeest sub-populations in the Serengeti National Park, Tanzania”. PhD thesis. Norway: Fakultet for naturvitenskap og teknologi, 2007. ISBN: 978-82-471-4218-9. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/227947?show=full>.
- [HAM14] Ricardo M. Holdo, T. Michael Anderson, and Thomas Morrison. “Precipitation, fire and demographic bottleneck dynamics in Serengeti tree populations”. In: *Landscape Ecol.* 29.9 (Nov. 2014), pp. 1613–1623. ISSN: 1572-9761. DOI: 10.1007/s10980-014-0087-y.
- [Tai14] Patrick Taillandier. “Traffic simulation with the GAMA platform”. In: *ResearchGate* (May 2014).
- [And+16] T. Michael Anderson et al. “The spatial distribution of African savannah herbivores: species associations and habitat occupancy in a landscape context”. In: *Phil. Trans. R. Soc. B* 371.1703 (Sept. 2016), p. 20150314. ISSN: 1471-2970. DOI: 10.1098/rstb.2015.0314.
- [Tai+17] Patrick Taillandier et al. *A BDI Agent Architecture for the GAMA Modeling and Simulation Platform*. Sept. 2017. ISBN: 978-3-319-67476-6. DOI: 10.1007/978-3-319-67477-3\_1.
- [Kaz+23] Dana Kazyeva et al. “Large-scale agent-based simulation model of pedestrian traffic flows”. In: *Comput. Environ. Urban Syst.* 105 (Oct. 2023), p. 102021. ISSN: 0198-9715. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2023.102021.