

Simulación con Agentes

Fernando Sánchez Ruiz Autor, Dr. José Antonio Guerrero Días De León Tutor

MCCMA (Tarea. Simulación. al118045@edu.uaa.mx)

Resumen— Las simulaciones basadas en agentes, como Wa-Tor, son herramientas poderosas para entender sistemas complejos. Permiten a investigadores y educadores explorar las consecuencias de reglas y parámetros sobre la dinámica de sistemas sin necesidad de experimentación real, lo que puede ser especialmente útil en ecología, economía, sociología y otros campos donde los experimentos reales pueden ser inviables, éticamente cuestionables o simplemente imposibles. Por ello, en este trabajo se define lo que respecta a los modelados basados en agentes, definiciones y conceptos básicos, damos una propuesta de documentación y diseño de dichos agentes, llamado protocolo ODD y presentamos un caso de estudio donde simulamos un modelo llamado WaTor.

I. INTRODUCCIÓN

Un modelo se define como una representación con propósito específico de algún sistema real, diseñado para resolver problemas o responder preguntas sobre dicho sistema o una clase de sistemas. Los modelos son esenciales para comprender cómo funcionan las cosas, explicar patrones observados y predecir el comportamiento de los sistemas frente a cambios. Debido a que los sistemas reales suelen ser demasiado complejos o evolucionan muy lentamente para analizarlos directamente, se formulan representaciones simplificadas mediante ecuaciones o programas de computadora que permiten la manipulación y experimentación.

La versión inicial de un modelo se basa en una comprensión preliminar del sistema, que puede ajustarse mediante análisis y experimentación. Este proceso iterativo subraya la naturaleza exploratoria del modelado, donde el modelo se refina continuamente para lograr una representación más precisa y útil del sistema real.

Ciclo de modelado

El ciclo de modelado[1], es un proceso sistemático e iterativo crucial en la práctica del modelado científico. Este proceso implica la utilización de algoritmos matemáticos y computacionales para determinar rigurosamente las consecuencias de las simplificaciones asumidas en la construcción de modelos. La iteración a través de las tareas de modelado es esencial, ya que los modelos iniciales siempre pueden mejorarse, por poder ser demasiado simples, demasiado complejos, o porque revelan que se estaban planteando las preguntas equivocadas.

El ciclo de modelado consta de las siguientes tareas principales:

Formulación de la pregunta: Se debe empezar con una pregunta de investigación clara que actúe como brújula y filtro para el diseño del modelo. Formular una pregunta clara y productiva es a menudo un desafío, especialmente para sistemas complejos.

Ensamblaje de hipótesis: Esto implica la representación directa de los agentes y sus comportamientos sin intentar agregarlos en variables abstractas. Se deben formular hipótesis sobre los procesos y estructuras esenciales para la pregunta o problema abordado.

Elección de escalas, entidades, variables de estado, procesos y parámetros: Una vez seleccionadas algunas suposiciones simplificadoras e hipótesis, es necesario pensar detalladamente en el modelo y producir una formulación escrita del mismo.

Implementación del modelo: Esta tarea implica el uso de programas de computadora para traducir la descripción verbal del modelo en un objeto "animado", permitiendo explorar de manera lógica y rigurosa las consecuencias de las suposiciones iniciales.

Análisis, prueba y revisión del modelo: La tarea de analizar el modelo y aprender de él es la más exigente y consume más tiempo. Requiere ir más allá de la simple implementación, buscando entender y predecir características importantes de sistemas reales.

Modelado basado en agentes (Agent-Based Modeling)

El modelado basado en agentes (ABM, por sus siglas en inglés) representa una evolución en la forma en que abordamos la modelización de sistemas complejos, superando las limitaciones históricas impuestas por la tractabilidad matemática. Tradicionalmente, la complejidad de los modelos científicos se limitaba a lo que podía resolverse matemáticamente, a menudo restringiendo el alcance de la modelización a problemas relativamente simples. Sin embargo, con el advenimiento de la simulación por computadora, estas limitaciones se han aliviado, permitiendo abordar problemas que requieren modelos menos simplificados y que incorporan más características de los sistemas reales.

* Universidad Autónoma de Aguascalientes

Los ABM se distinguen por representar los componentes individuales de un sistema y sus comportamientos de manera menos simplificada. En lugar de describir un sistema solo con variables que representan el estado del sistema completo, los ABM modelan sus agentes individuales. Estos agentes, ya sean organismos, humanos, empresas, instituciones u otras entidades, se describen como entidades únicas y autónomas que interactúan localmente entre sí y con su entorno. Esta singularidad implica que los agentes suelen diferir entre sí en características como el tamaño, la ubicación, las reservas de recursos y la historia. La interacción local significa que los agentes generalmente no interactúan con todos los demás agentes, sino solo con sus vecinos, ya sea en el espacio geográfico o en algún otro tipo de "espacio", como una red.

II. PROTOCOLO ODD

El protocolo ODD, "Overview, Design concepts, and Details", es un método para formular modelos basados en agentes (ABM) de manera estructurada y rigurosa. Este protocolo facilita la transición desde la parte heurística del modelado, donde se consideran los datos, ideas e hipótesis del problema, hacia la primera representación formal y rigurosa del modelo. La formulación de un modelo a través del protocolo ODD implica tomar decisiones sobre la estructura del modelo y describirlo mediante palabras, diagramas, ecuaciones, etc., lo que obliga a los autores del modelo a pensar explícitamente en todos los componentes de este.

Este protocolo consta de siete elementos esenciales, Fig 1, que abarcan desde el propósito del modelo hasta los detalles específicos de su implementación:

Elements of the ODD protocol	
Overview	1. Purpose
	2. Entities, state variables, and scales
	3. Process overview and scheduling
Design concepts	4. Design concepts
	• Basic principles
	• Emergence
	• Adaptation
	• Objectives
	• Learning
	• Prediction
	• Sensing
Details	• Interaction
	• Stochasticity
	• Collectives
	• Observation
	5. Initialization
	6. Input data
	7. Submodels

Fig. 1. Elementos del protocolo ODD, divididos entre los grupos Overview, Design concepts, and Details.

Propósito: Se establece una declaración clara y concisa del problema o pregunta que aborda el modelo, identificando el sistema modelado y el conocimiento que se busca adquirir.

Entidades, Variables de Estado y Escalas: Se describe la estructura del modelo, incluyendo sus entidades (como agentes,

el entorno, y variables globales), las variables que caracterizan a estas entidades, y las escalas temporal y espacial pertinentes.

Visión General del Proceso y Programación: Se proporciona un resumen de los procesos modelados, detallando cómo interactúan las entidades y cómo se simula el paso del tiempo en el modelo.

Conceptos de Diseño: Este elemento aborda las características esenciales del ABM, incluyendo principios como la emergencia, la adaptación, y la predicción, entre otros. Estos conceptos guían el diseño del modelo y su interpretación.

Inicialización: Se explica cómo se establece el estado inicial del modelo al comienzo de la simulación, incluyendo la configuración del entorno y la creación de agentes.

Datos de Entrada: Se detalla cómo el modelo incorpora datos externos, si los hay, para simular variables ambientales que cambian con el tiempo.

Submodelos: Este elemento desglosa los procesos individuales modelados como submodelos, proporcionando detalles sobre las reglas, algoritmos y ecuaciones que los definen.

El protocolo ODD es tanto una herramienta para el diseño y formulación de ABMs como un estándar para su documentación, facilitando la comprensión, replicación y comunicación de los modelos. Empezar con el propósito clarifica la dirección del modelado, mientras que la detallada descripción de los componentes y procesos asegura que todos los aspectos relevantes sean considerados y documentados adecuadamente.

III. MODELO WA-TOR

El modelo Wa-Tor es un sistema de autómatas celulares que simula las interacciones depredador-presa en un ambiente acuático, representando tiburones como depredadores y peces como presas[2]. Se caracteriza por su dinámica de población oscilante y su capacidad para mostrar autoorganización y comportamientos emergentes, como la formación de clusters de presas y la oscilación en las cantidades de depredadores y presas. Es notable por su simplicidad y por ofrecer una plataforma para estudiar procesos ecológicos complejos, incluyendo la distribución espacial y el comportamiento colectivo.

El propósito del modelo es entender cómo fluctúan las poblaciones de estas dos especies a través del tiempo debido a sus interacciones. Los tiburones se alimentan de los peces, y ambos tienen tiempos específicos de reproducción y, en el caso de los tiburones, un tiempo límite de supervivencia sin alimento antes de morir de hambre.

El modelo se ejecuta en pasos de tiempo discretos, llamados "chronons", durante los cuales cada pez y tiburón puede moverse en una de las cuatro direcciones posibles (norte, sur, este, oeste)

a puntos adyacentes, siempre y cuando no estén ocupados por miembros de su propia especie. La selección de movimientos se hace al azar. Si un tiburón encuentra un pez en uno de los puntos adyacentes, se mueve a ese punto y consume al pez, lo cual reinicia su contador de tiempo antes de morir de hambre.

El espacio de simulación, o "océano", se representa como una grilla que se envuelve sobre sí misma, creando un espacio continuo sin bordes. Esta configuración toroidal permite que las criaturas que se muevan fuera de un borde de la grilla reaparezcan en el lado opuesto, imitando un espacio sin límites.

Para configurar una simulación en Wa-Tor, se establecen varios parámetros[3], incluidos el número inicial de peces y tiburones, el tiempo necesario para que cada especie se reproduzca, y el tiempo máximo que un tiburón puede sobrevivir sin comer.

Caso de estudio

En nuestro caso generamos un programa en C#, donde estaremos realizando la simulación y modificando los parámetros para describir los comportamientos más llamativos que encontramos

Caso #1

La bibliografía menciona que el modelo es robusto y puede evolucionar de manera no trivial a lo largo de períodos prolongados para una amplia gama de valores de parámetros, cabe mencionar que los colores elegidos en nuestra simulación son azules para los peces y rojo para los tiburones.

Los parámetros con los que simularemos el primer caso, Fig 2, serán los tiempos de reproducción de peces y tiburones (fbreed y sbreed), el período de inanición de los tiburones (starve), y los tamaños iniciales de la población (10% peces y 20% tiburones), en donde se destaca la configuración $fb = 4$, $sb = 8$, y $ss = 4$.

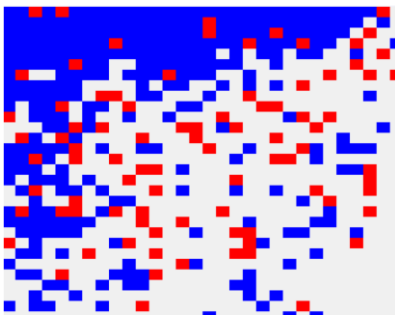


Fig. 2. Simulación estable, parámetros: $fb = 4$, $sb = 8$, y $ss = 4$, población inicial (20% peces y 10% tiburones), color asignado azul para peces y rojo para tiburones.

Con esta configuración la simulación puede iterar muchas veces ya que los peces se reproducen constantemente y permiten mantener vivos a los tiburones, porque, aunque los tiburones mueren relativamente rápido, y se reproducen en el doble de tiempo que los peces, la alta concentración de peces permite la supervivencia de los tiburones y su proliferación.

Caso #2

Podemos ver cambios abruptos en el comportamiento de la simulación con modificaciones muy pequeñas, por ejemplo, el que se presenta en la Fig 3, donde muestra la aniquilación de la vida, aquí los tiburones acaban con los peces y finalmente mueren; tamaño inicial de la población (10% peces y 20% tiburones), con un cambio en el nacimiento de tiburones de 8 a 4, $fb = 4$, $sb = 4$, y $ss = 4$.

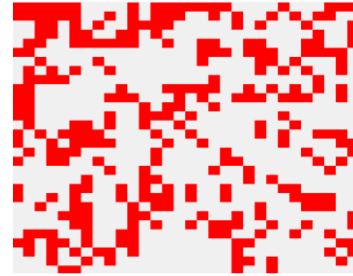


Fig. 2. Simulación de Aniquilación, parámetros: $fb = 4$, $sb = 4$, y $ss = 4$, población inicial (20% peces y 10% tiburones), color asignado azul para peces y rojo para tiburones.

Caso #3

En este caso podemos ver la extinción de los tiburones, con cambios más grandes en los parámetros como lo podemos ver en la Fig 3, tamaño inicial de la población (10% peces y 20% tiburones), $fb = 15$, $sb = 20$, y $ss = 3$.

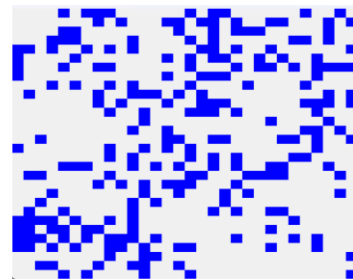


Fig. 3. Simulación de extinción, parámetros: $fb = 15$, $sb = 20$, y $ss = 3$, población inicial (20% peces y 10% tiburones), color asignado azul para peces y rojo para tiburones.

IV. CONCLUSIONES

La conclusión de nuestra simulación hecha sobre el modelo Wa-Tor, es que una simulación con agentes es una representación fiel de la realidad, si pensamos bien el resultado es lógico, ya que la relación presa-depredador en la naturaleza, requiere condiciones parecidas para la supervivencia de las especies, el caso 1 con una dependencia constante de comida y una tasa de nacimiento alta del depredador, permite el desarrollo de ambas especies, sin embargo una tasa alta de nacimientos del depredador genera la aniquilación de ambas especies como se puede ver en el caso 2, y de lo contrario como podemos observar en el caso 3, una tasa muy baja de nacimientos de ambas especies y la necesidad constante de comer provocaría que los tiburones se extinguieran.

Tomamos como caso de estudio el modelo wa-tor, que no seríamos capaces de probar, tanto por el tiempo requerido como los recursos económicos y ambientes requeridos, sin embargo, la simulación con base en agentes es una herramienta muy poderosa, ya que nos permite realizar simulaciones de los parámetros de dicho modelo, y hacer pruebas para obtener resultados esperados o teóricos, está sola idea puede traer problemas morales si se tuvieran que realizar dichas pruebas en la realidad, sin mencionar que el tiempo requerido puede ser mucho, entonces las simulaciones basadas en agentes son herramientas perfectas para realizar dichos experimentos en poco tiempo, sin riesgos y moralmente aceptables.

V. REFERENCIAS

- [1] S. F. Railsback and V. Grimm, *A Practical Introduction*. Princeton University Press, 2011.
[Online]. Available:
<http://www.jstor.org/stable/j.ctt7sns7>
- [2] B. Sutherland and A. Jacobs, "Self-Organization and Scaling in a Lattice Predator-Prey Model," *Complex Systems*, vol. 8, pp. 385–405, Dec. 1994.
- [3] A. K. Dewdney, "The Armchair Universe: An Exploration of Computer Worlds," 1988.