

Introducción al Modelado Basado en Agentes

Imanol Garnelo Pérez

14 de septiembre de 2025

¿Por qué el Modelado Basado en Agentes?

Esta serie de videos ofrece una introducción a la metodología del modelado basado en agentes (ABM) y muestra cómo esta herramienta puede ayudarnos a comprender con mayor profundidad tanto los sistemas naturales como los sociales, además de servir como apoyo en el diseño de soluciones a problemas colectivos. Antes de explicar por qué el ABM resulta relevante, conviene aclarar brevemente en qué consiste. Un agente es una entidad autónoma —puede representar a una persona, un animal, una organización o incluso un recurso— que en el modelo se traduce en un objeto computacional, es decir, una unidad programada en el software con propiedades y reglas de comportamiento definidas. (Wilensky & Rand, 2015, p. 2).

Ventajas de las representaciones computacionales

Estas representaciones computacionales —o objetos dentro del modelo— son dinámicas y ejecutables, lo que permite una interacción directa entre el usuario y la simulación.

Aún más importante, los modelos basados en agentes ofrecen ventajas particulares: resultan intuitivos y relativamente fáciles de comprender, incluso para personas sin formación técnica especializada. (Wilensky & Rand, 2015, p. 2).

ABM vs. Modelos Matemáticos

Los modelos basados en agentes ofrecen una intuición y comprensión más claras que las representaciones matemáticas del mismo fenómeno.

Esto se debe a que se construyen a partir de individuos con reglas simples de comportamiento, lo que facilita visualizar cómo sus interacciones producen resultados colectivos. En cambio, los modelos matemáticos tradicionales se expresan mediante símbolos y ecuaciones abstractas, lo que puede resultar menos accesible. En la vida cotidiana solemos pensar y hablar en términos de personas que interactúan entre sí, no en función de tasas de cambio agregadas como las que describen las ecuaciones diferenciales. (Wilensky & Rand, 2015, p. 2).

Modelo Matemático (Modelo SIR simplificado) (Wilensky & Rand, 2015, p. 2)

Qué es:

- ▶ Es un **modelo matemático** que describe cómo se propaga una enfermedad en un grupo de personas.
- ▶ Representa **grupos** de personas, no individuos.
- ▶ Variables:
 - ▶ x = número de personas sanas
 - ▶ y = número de personas infectadas

Fórmula del modelo:

$$\frac{dy}{dt} = \beta xy - \gamma y$$

- ▶ β : rapidez con la que los sanos se contagian al interactuar con infectados.
- ▶ γ : rapidez con la que los infectados se recuperan.
- ▶ La fórmula indica cómo cambia el número de infectados (y) con el tiempo.

*Idea clave: este modelo es **abstracto**, porque describe grupos y promedios, no lo que hace cada persona individual.*

Modelo Basado en Agentes (ABM) (Wilensky & Rand, 2015, p. 2)

Qué es:

- ▶ Es un **modelo basado en agentes**, que representa a cada persona individualmente.
- ▶ Cada agente puede estar:
 - ▶ Sano (x)
 - ▶ Infectado (y)
- ▶ Los agentes interactúan: si un sano se encuentra con un infectado, puede contagiarse.
- ▶ Los infectados pueden recuperarse con el tiempo.
- ▶ Más fácil de entender, porque representa interacciones reales y no solo fórmulas.

Diferencia clave entre ambos modelos (Wilensky & Rand, 2015, p. 2)

- ▶ **Modelo Matemático:** describe cómo cambian los grupos de personas usando ecuaciones; es **abstracto** porque no representa individuos, solo promedios y tasas de cambio.
- ▶ **ABM:** describe cómo cambian individuos a través de interacciones; más intuitivo y fácil de comprender, porque vemos lo que hace cada agente.

Herramientas para estudiar sistemas complejos (Wilensky & Rand, 2015, pp. 6)

Idea principal: El avance del conocimiento impulsa el desarrollo de herramientas más potentes.

- ▶ El aumento del poder de cómputo nos permite:
 - ▶ **Modelar** sistemas con muchos elementos interconectados
 - ▶ **Simular** cómo interactúan dichos elementos
 - ▶ **Analizar** los patrones y fenómenos que emergen de esas interacciones
- ▶ De esta manera se consolida el campo de los **sistemas complejos**.

Definición de sistemas complejos (Wilensky & Rand, 2015, pp. 6)

Características principales:

- ▶ Los sistemas complejos están formados por **muchos elementos** que se afectan entre sí.
- ▶ El comportamiento total del sistema **no se puede predecir** solo mirando cada elemento por separado.
- ▶ De estas interacciones surgen **patrones o fenómenos nuevos** que no estaban planeados.
- ▶ Esta aparición de patrones inesperados se llama **emergencia**, y es lo que define a los sistemas complejos.

Emergencia en sistemas complejos (Wilensky & Rand, 2015, pp. 6-7)

Aspectos clave de la emergencia:

- ▶ Los patrones globales aparecen de manera espontánea a partir de interacciones locales.
- ▶ No existe un control central; el sistema se **autoorganiza**.
- ▶ Las reglas simples a nivel micro generan estructuras ordenadas a nivel macro.
- ▶ Las macroestructuras son **dinámicas**: pueden deshacerse y volver a formarse.
- ▶ Cada reestructuración es distinta, influida por el **azar y la probabilidad**.

Ejemplo 1: Turtles Circling Simple (Wilensky & Rand, 2015, pp. 8)

Sistema de tortugas en un círculo:

- ▶ Cada tortuga sigue una regla simple.
- ▶ Inicialización: tortugas distribuidas en un círculo, orientadas en sentido horario.
- ▶ Comportamiento: avanzar y girar en cada tick del reloj.
- ▶ Pregunta: ¿Qué patrón global emergerá?
- ▶ Resultado: el círculo puede mantenerse regular o deformarse según los parámetros ajustados.

Control mediante sliders (deslizadores)

Sliders en NetLogo:

- ▶ Controles interactivos que permiten al usuario **modificar valores dinámicamente** durante la simulación.
- ▶ En este modelo se usan sliders para:
 - ▶ `initial-radius` = radio inicial del círculo de tortugas.
 - ▶ `fd-step` = distancia que cada tortuga avanza en cada tick.
- ▶ Los sliders no tienen unidades fijas; se pueden ajustar libremente para explorar distintos patrones.
- ▶ Ajustar los sliders permite observar cómo pequeñas variaciones afectan el patrón global y la **emergencia**.

Relación para un círculo perfecto

Idea principal: Para que las tortugas describan un círculo perfecto, el avance (`fd-step`) debe coincidir con el arco del círculo definido por (`initial-radius`).

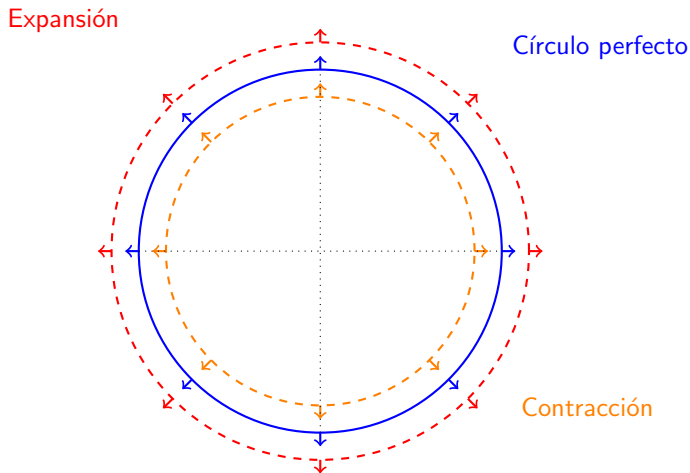
$$\text{Ángulo de giro (turn-step)} \approx \frac{\text{fd-step}}{\text{initial-radius}} \cdot \frac{180}{\pi}$$

Interpretación del evento emergente

Deformación del círculo:

- ▶ Cada tortuga sigue inicialmente un arco de círculo definido por el radio inicial.
- ▶ Si la distancia y la orientación no coinciden exactamente con el arco, el círculo se deforma.
- ▶ Esto provoca que el círculo parezca expandirse o contraerse según cómo se acumulen los movimientos de cada tortuga.
- ▶ Este efecto no está programado explícitamente, sino que surge de la interacción entre los pasos y la orientación: es un **evento emergente**.

Visualización del círculo con flechas



Flechas avanzando sobre segmentos curvos del círculo

Referencias I



Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. The MIT Press.