

Modelado de La Brecha Digital

Imanol Garnelo Perez

24 de Septiembre del 2025

- Juventudes y su papel en la innovación tecnológica.
- Importancia del espacio digital en su desarrollo.
- Conectividad, creación de contenido y trabajo en red.
- No solo consumidores, sino creadores e investigadores.

Desigualdad como intercambio de poderes

- Enfoque en juventudes en América Latina.
- La desigualdad como fenómeno estructural.
- Relación con el poder y estructuras sociales.
- Referencias a Reygadas (2019), que realiza reflexiones de la asimetría de poderes.

Brecha Digital y Deserción Escolar

- Brecha digital como forma de desigualdad.
- Relación con el acceso a tecnología y permanencia escolar.
- Impacto en la cohesión e integración social.
- Relación con exclusión y violencia escolar.

Dijk (2020) identifican tres tipos:

- **Global:** Entre países industrializados y en desarrollo.
- **Social:** Entre ricos y pobres.
- **Democrática:** Uso de Internet para participación cívica.

Impacto negativos en la juventud y las TICS

- Prejuicios y estigmatización limitan su participación social.
- Tecnologías y medios amplifican discursos de exclusión.
- Representaciones distorsionadas refuerzan la marginalización.

(MAS) Sistemas Multiagente: Surgen en los años 90 como una rama de la IA distribuida, enfocada en resolver problemas mediante entidades autónomas e interdependientes. A diferencia de la IA clásica, buscan generar “inteligencia colectiva” a partir de la interacción de agentes simples, facilitando la simulación social. Sus principales características son:

- 1 Autonomía.
- 2 Reactividad.
- 3 Proactividad.
- 4 Conocimiento local.

¿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.

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**.

Los agentes computacionales han sido un tópico activo de exploración durante las primeras seis décadas de la inteligencia artificial (IA). En los años setenta y ochenta, la investigación se concentró en aplicaciones como la representación del conocimiento, sistemas expertos, aprendizaje de máquinas e interpretación del lenguaje natural.

Una pequeña comunidad conformó la inteligencia artificial distribuida (IAD), definida como el estudio de entidades autónomas que cooperan y se comunican para desarrollar tareas específicas (Ontiveros & Calvo, 2017, p. 24).

El objetivo es introducir al entorno de programación NetLogo:

- Creación de agentes e interacción con su entorno.
- Procesos que permiten la interacción y los cambios en el entorno.
- Ejemplo sencillo de programación en NetLogo y construcción de interfaz gráfica.

Se aclara que no es un manual exhaustivo, sino una introducción práctica con una lista de elementos esenciales del lenguaje (Ontiveros & Calvo, 2017, p. 24).

Un viaje rápido por NetLogo

- Descargar e instalar NetLogo desde su página oficial.
- Interfaz gráfica con pestañas: “Ejecutar”, “Información” y “Código”.
- Biblioteca de modelos con ejemplos prefabricados.
- Uso de la pestaña “Información”.
- Ventana de código que compila y verifica sintaxis.

Estas secciones permiten entender NetLogo como un lenguaje, un ambiente y un sistema de programación (Ontiveros & Calvo, 2017, pp. 41-48).

El ambiente en NetLogo

En la pestaña “**Ejecutar**”, el ambiente del modelo ya está construido. Este mundo se compone de *patches* (parcelas), que son agentes sin movilidad pero con ubicación, color y propiedades definidas por el usuario. Por defecto, el mundo mide 33×33 parcelas, es decir, 1 089 *patches*. El espacio es toroidal: no tiene límites verticales ni horizontales, (Ontiveros & Calvo, 2017, p. 54).

Construcción del laboratorio en NetLogo

En la ventana “**Ejecutar**” se pueden añadir botones que activan procedimientos. Por ejemplo, un botón “Inicializar” se vincula al procedimiento `setup`.

- El comando `ask` indica qué agentes ejecutarán las acciones.
- El comando `pcolor` define el color de cada parcela.
- El comando `set` establece la acción o propiedad.
- Comandos clave: `clear-all`, `n-of`, `in-radius`.

Esto permite transformar el mundo artificial para experimentar con diferentes escenarios (Ontiveros & Calvo, 2017, pp. 55-58).

Ejemplo: Migración por desigualdad territorial

Modelo simple de 100 agentes (*turtles*) que se distribuyen aleatoriamente y simulan dinámicas de migración.

```
to setup
  clear-all
  create-turtles 100 [
    setxy random-xcor random-ycor
    set color blue
  ]
  reset-ticks
end
```

Visualización esperada: Una cuadrícula donde 100 puntos azules representan agentes migrantes en distintas coordenadas.

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.

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

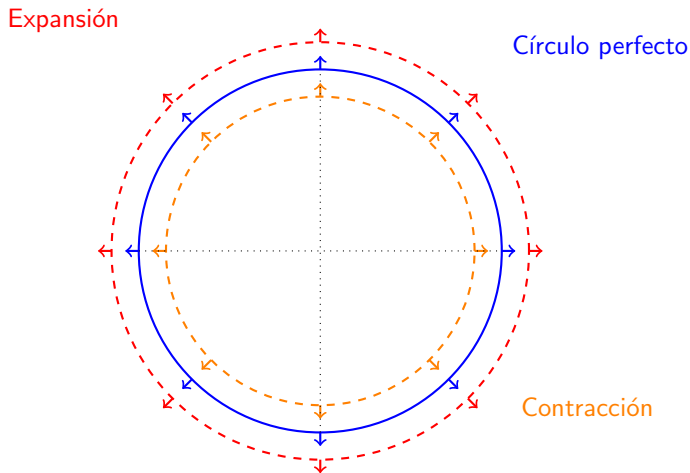
Idea principal: Para que las tortugas describan un círculo perfecto, el avance (`fd-step`) debe coincidir con el arco del círculo definido por (`initial-radius`).

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

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

Variables (Poblaciones):

- $x(t)$: Jóvenes con alta brecha digital.
- $y(t)$: Jóvenes sin brecha digital.
- $z(t)$: Jóvenes con uso moderado de TICs.

Ecuaciones:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha - \beta x - \gamma xy - \delta(u + v) - \left(p + q \cdot \frac{z}{M}\right)x \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = \alpha - \beta y + \gamma xy - \delta(u + v) \quad (2)$$

$$\frac{dz}{dt} = \alpha - \beta z + \delta(u + v) + \left(p + q \cdot \frac{z}{M}\right)x \quad (3)$$

Parámetros y Factores del Modelo

Parámetro	Descripción
α	Tasa de ingreso a la educación.
β	Tasa de deserción escolar.
γ	Influencia de redes sociales en el uso de TICs.
δ	Efecto de intervenciones sociales.
p	Influencia externa (campañas públicas).
q	Influencia interna (contagio social).
M	Tamaño del grupo social en el estudio.
$u(t), v(t)$	Programas o políticas específicas que buscan reducir la brecha digital.

Cuadro: Parámetros del modelo en un contexto social.

Análisis Detallado del Último Término

El último término del modelo, ahora denotado como función de flujo de transición, es:

$$F_{\text{trans}}(x, z) = \left(p + q \cdot \frac{z}{M} \right) \cdot x$$

Desglose del término:

- x : población de jóvenes con alta brecha digital.
- p : influencia externa (campañas públicas o políticas educativas).
- $q \cdot \frac{z}{M}$: influencia interna, proporcional a la fracción de jóvenes con uso moderado de TICs en el grupo total M .
- $p + q \cdot z/M$: suma de influencias externas e internas; representa la fuerza combinada que impulsa la transición de x hacia z .
- Multiplicando por x , obtenemos la **cantidad de jóvenes que efectivamente cambian de x a z ** en un instante de tiempo.

Teoría de Grafos (Borgatti et al., 2022)

Introducción

La teoría de grafos es una disciplina matemática cuyo desarrollo ha estado motivado por sus diversas aplicaciones en ciencia, ingeniería y otros campos.

Orígenes

El primer artículo sobre teoría de grafos fue escrito por Euler en 1736 para resolver el problema de los puentes de Königsberg. Desde entonces, matemáticos como Euler, Vandermonde, Cauchy, Cayley, entre otros, han contribuido a su desarrollo.

Definición

Geométricamente, un grafo es un conjunto de puntos en el espacio conectados por líneas. Algebraicamente, un grafo se define como un par ordenado (V, E) , donde V es el conjunto de vértices y E el conjunto de lados.

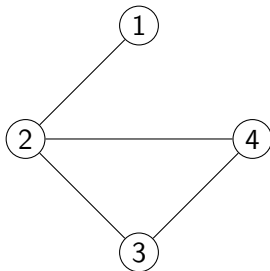
Planteamiento de la red

Así, algebraicamente, un grafo G se define como un par ordenado $G = (V, E)$, donde V hace alusión al conjunto de vértices y E al conjunto de lados. En esta investigación usaremos la notación explícita o la notación simplificada según sea necesario. Por ejemplo:

$$G = (V, E) = \{(V(G), E(G))\},$$

$$V = V(G) = \{1, 2, 3, 4\},$$

$$E = E(G) = \{(1, 2), (2, 3), (2, 4), (3, 4)\}.$$



¿Qué es un Grafo y una Red?

Grafo: Un grafo es una estructura matemática compuesta por un conjunto de **vértices** (o nodos) y un conjunto de **aristas** (o enlaces) que conectan pares de vértices.

Red: Una red es un grafo en el que los nodos y las conexiones representan entidades y relaciones en un contexto específico, como redes sociales, eléctricas o de transporte.

Ejemplo:

- En una red social, los nodos representan personas y las aristas, sus relaciones (amistad, seguimiento, etc.).
- En una red de transporte, los nodos son ciudades y las aristas, carreteras o rutas.

Ejemplo de la red

$$C_{\text{promedio}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{2 \cdot T_i}{k_i \cdot (k_i - 1)}$$

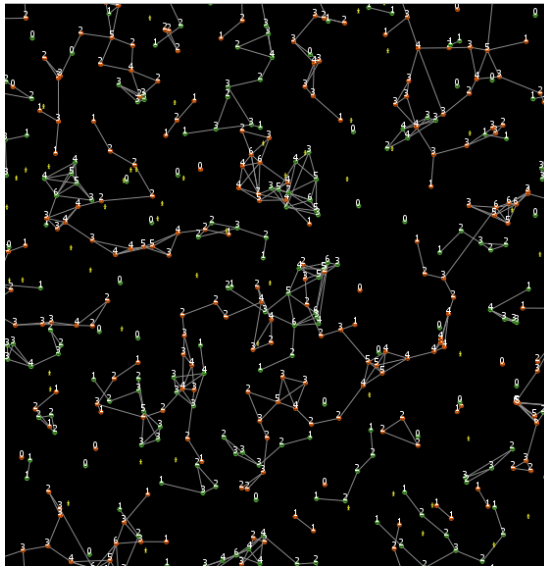
Donde:

- C_{promedio} : Representa el coeficiente de agrupamiento local promedio para todos los nodos en la red.
- N : Es el número total de nodos en la red.
- T_i : El número de triángulos "verdaderos" que involucran al nodo i .
- k_i : El número de conexiones (grados) del nodo i .

Esta medida proporciona una evaluación del agrupamiento local promedio en la red y refleja cuántos triángulos se forman en relación con las conexiones de los nodos.

En esta sección, se presentan distintos escenarios del sistema multiagente para simular diversos comportamientos de las tres poblaciones involucradas.

Brecha Digital - Continuación



Brecha Digital - Continuación

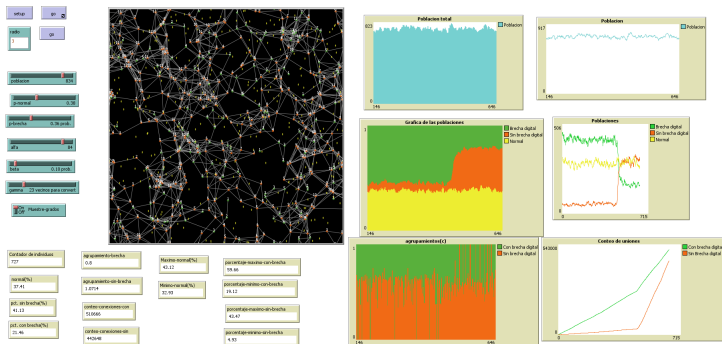


Figura: Brecha Digital

Referencias

- Amaya Cedrón, L. A. (2020). Modelo de Lotka - Volterra en la biomatemática: solución de sistema depredador-presa. *Ciencias*, 4(4), 99-110. <https://doi.org/10.33326/27066320.2020.4.991>
- Arriazu, R. (2015). La incidencia de la brecha digital y la exclusión social tecnológica: el impacto de las competencias digitales en los colectivos vulnerables. *Praxis Sociológica*, (19), 225-240.
- Blanchard, P., Devaney, R., & Hall, G. (1998). *Ecuaciones diferenciales*. International Thomson Editores.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., Johnson, J. C., & Agneessens, F. (2022). *Analyzing Social Networks Using R*. SAGE Publications Ltd. https://books.google.com/books/about/Analyzing_Social_Networks_Using_R.html?id=vd9LEAAQBAJ
- Dijk, J. V. (2020). *What is the Digital Divide? Introduction: the concept of the digital divide*. Polity Press.
- Ontiveros, A. A., & Calvo, M. P. (2017). *Introducción al modelado basado en agentes: Una aproximación desde NetLogo*. El Colegio de San Luis.