



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS
Y DE ADMINISTRACIÓN



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Microsimulación

Docente: Daniel Ciganda

2^{da} Clase

27 de Agosto de 2025

Modelos: Definición, tipos, niveles

Modelos computacionales basados en agentes

Ventajas: Flexibilidad, ejemplos

Orígenes: Autómatas Celulares

De Autómatas Celulares a MBA

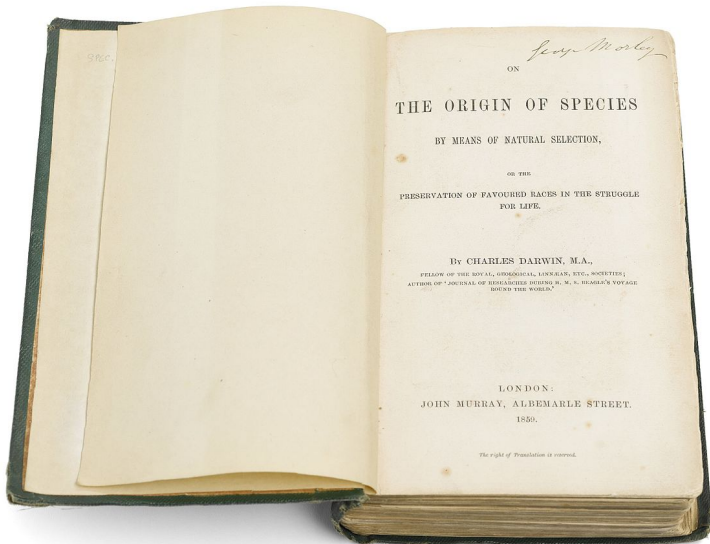
Trabajo práctico: El Modelo de Segregación de Schelling

Modelo: Representación de un sistema o un proceso a través de sus **características principales** con el fin de manipularlo.

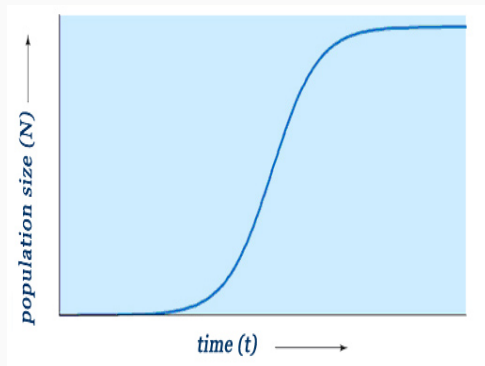
La representación puede realizarse a partir de **distintos lenguajes**.

Modelos Físicos



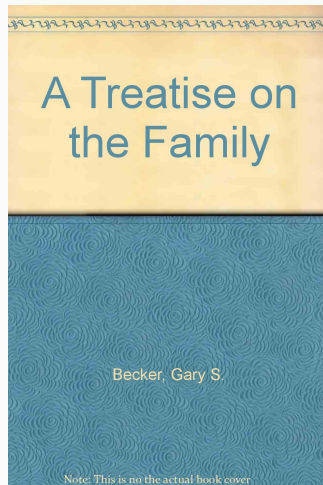


$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$



$$N(t) = \frac{N_0 \cdot K}{(K - N_0) \cdot \exp(-r \cdot t) + N_0}$$

- Modelos microeconómicos de la formación de familias.
- Supuestos: Racionalidad, **control total del proceso reproductivo**.
- Estos modelos comienzan a desarrollarse en los 60s - los anticonceptivos fueron legalizados en Francia en 1967(!) y en España en 1978(!!)



Modelos Computacionales

Function

Read Input Data

Initialization:

Define Initial Population Size; Define Attributes

Start Simulation:

while *time* < *end time* **do**

Choose Next Event \rightarrow *nEvent*

Update Clock, Ages and Waiting Times

if *nEvent* = *Complete Education* **then**

| Update Attributes and Waiting Times

end

...

if *nEvent* = *Death* **then**

| Update Attributes and Waiting Times

end

if *End of Current Year* **then**

| Compute and Store Aggregate Indicators

end

end

Result:

Collect Output in List for Analysis

end

Bernard Chazelle: Los algoritmos como el idioma de la ciencia moderna.

La matemática triunfa en dominios caracterizados por la **simetría**, la **periodicidad** y la **regularidad**, como la mayoría de los sistemas físicos.

Pero exhibe limitaciones importantes en sistemas biológicos y sociales.

Los modelos matemáticos de estos sistemas tienen, con mucha frecuencia, que **abstraerse** de las características que **permiten** efectivamente **entender** los sistemas biológicos y sociales, ej. Family Economics: Becker.

“algorithms as modelling devices”.

Flexibilidad para representar el comportamiento de las **microunidades** que conforman un sistema.

Tipos de Modelos, segun el **medio** utilizado para representar un sistema/proceso:

- Modelos físicos
- Modelos conceptuales
- Modelos matemáticos - basados en ecuaciones
- Modelos **computacionales** - basados en agentes - algorítmicos

Computacional != uso de computadoras.

Métodos numéricos != **Computación como teoría** (Miller and Page, 2007).

Simulación: Imitación del funcionamiento del sistema o proceso representado.

Nos interesa modelar el **comportamiento de una audiencia** al finalizar un espectáculo.

El modelo pertenece a una clase de modelos de **sistemas dinámicos descentralizados** que consisten en agentes distribuidos **espacialmente** que responden a **información local**.

La decisión modelada en este caso es si unirse a la ovación o no, pero muchas de las dinámicas pueden aplicarse a **otras decisiones** como apoyar un determinado partido político, comprar un determinado producto, sumarse a una protesta violenta.

Flexibilidad: Ej. El Modelo de la Ovación de Pie

Un modelo matemático posible definiría una audiencia N que reacciona a una señal s que depende de la calidad de la presentación q .

El proceso de la señal puede definirse como:

$$s_i(q) = q + \epsilon_i$$

donde,

$$\epsilon_i \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma).$$

Una persona solo se levantará para aplaudir si

$$s_i(q) > U$$

Donde U es un umbral crítico a partir del cual la reacción en el espectador motiva la ovación.

Sabemos que las personas **responden al comportamiento de los otros** y no sólo a sus evaluaciones individuales.

Podemos agregar un parámetro α que indique:

El número de espectadores que tienen que ponerse de pie inicialmente para generar una ovación de todo el auditorio a pesar de que para una fracción de los espectadores $s_i(q) < U$.

El nuevo modelo permite incorporar la **imitación** y **actualización** de decisiones. Pero todavía no permite representar:

- Dinámicas espaciales en el auditorio.
- Gradualidad con la que se forma la ovación.
- Relación entre espectadores.

Si queremos asumir que los espectadores están ubicados en **lugares específicos** y que existen grupos de espectadores con **vínculos** personales tenemos que cambiar el sustrato con el que modelamos.

El nuevo modelo:

- Introduce el **espacio** explícitamente, que puede afectar la señal, pero también reflejar preferencias a priori (selección).
- Incrementa el nivel de **heterogeneidad** de los espectadores (mas allá del asociado a ϵ_i).
- Permite representar y analizar un serie de **dinámicas** nuevas:
 - El modelo no va a alcanzar el equilibrio en dos iteraciones, sino que va a generar **cascadas** de comportamiento (dinámico entre-equilibrios).
 - La ubicación también genera dinámicas interesantes en terminos del acceso a la información / influencia.

Modelo tradicional: SIR sistema de ecuaciones diferenciales que representan la evolución de la proporción de personas en tres estados gobernada por una tasa de transmisión β y una tasa de recuperación γ

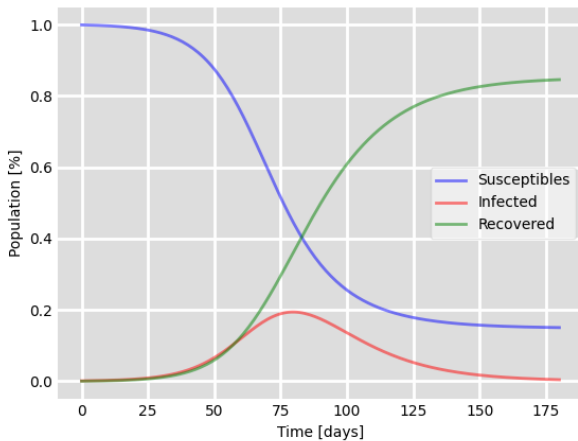
$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta SI}{N}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

- Ventajas: Simplicidad en la implementación y computación
- Desventajas: Heterogeneidad reducida, abstracción de la dinámica espacial y del patrón de contactos.

Flexibilidad: Ej. Modelos de Epidemias



Modelo computacional: Modelo Basado en Agentes

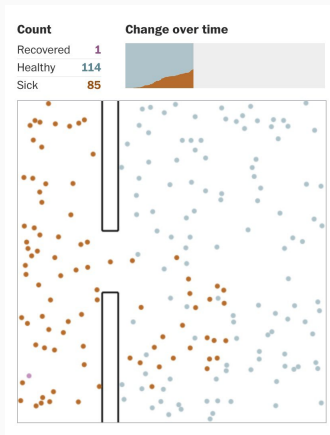
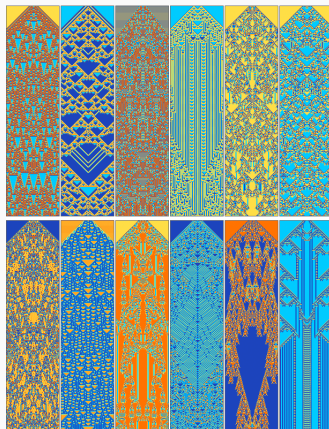


Figure 1: ABM Epidemia

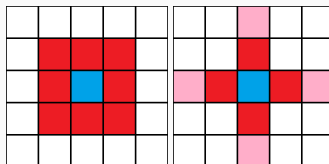
Orígenes: Autómatas Celulares

- 1940s Ulam & von Neumann.
1970s Conway. 1980 Wolfram.
- Modelos computacionales que consisten en **entidades** (celdas) adjacentes que cambian de estado a medida que **interactúan** en un **ambiente** predefinido de acuerdo a una regla o conjunto de **reglas**.
- <http://kidojo.com/cellauto/generate.cgi>



Temas:

- Influencia de reglas locales en **patrones emergentes** a nivel macro.
- Efecto de las **topologías de interacción** (Moore vs. von Neumann)
- Hacia que estado evoluciona el sistema? Estacionario, fluctuante, caótico.
- Patrones de **difusión** y sus características.
- Ejemplos: Game of Life de Conway.



Game of Life

- Creado por J.H. Conway en 1970.
- Juego sin jugadores - solo requiere un input inicial.
- Las celdas tienen inicialmente dos estados: vivas o muertas

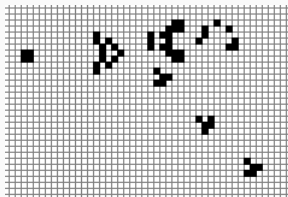


Figure 2: Game of Life

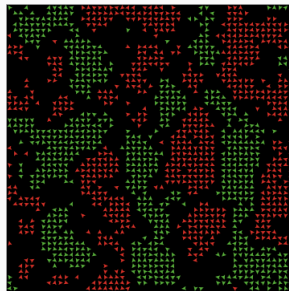
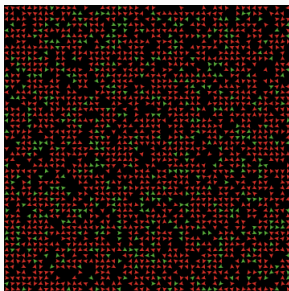
Reglas:

- Cualquier célula viva con menos de dos vecinos vivos muere: **despoblación**.
- Cualquier célula viva con dos o tres vecinos vivos continua viviendo.
- Cualquier célula viva con mas de tres vecinos vivos, muere: **sobrepoblación**.
- Cualquier célula muerta con exactamente tres vecinos vivos, revive: **reproducción**.

- A medida que se complejizan las preguntas los ambientes se sofistican y las unidades adquieren características y **atributos humanos**: autonomía, libertad de movimiento, toma de decisiones en base a objetivos, adaptación, aprendizaje, etc.

- **Definición:** Modelos computacionales en los que los sistemas de referencia se representan como una colección de entidades autónomas (agentes) que toman decisiones de acuerdo a un conjunto de **reglas**.
- Permiten modelar de manera explícita el **ambiente** en el que existen las entidades que constituyen el sistema y la interacción agente-ambiente.
- Permiten analizar como las **acciones e interacciones** de los agentes dan forma a la dinámica del sistema (bottom-up). Vincula los niveles micro y macro.

Modelo de Segregación de Schelling



- Agentes de dos colores diferentes en un mundo-tablero.
- Cada agente tiene un nivel de tolerancia / umbral que determina su felicidad con respecto a la proporción de agentes en su vecindario distintos a si mismo.
- Patrones de segregación **emergen** en el mediano plazo incluso en presencia de agentes relativamente tolerantes.