



FACULTAD DE  
CIENCIAS ECONÓMICAS  
Y DE ADMINISTRACIÓN



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

## Curso Demografía - Licenciatura en Estadística

---

Docentes:

Daniel Ciganda

Facundo Morini

16<sup>va</sup> Clase

4 de Noviembre de 2025

# Modelado y Simulación

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

**Simulación:** Proceso de ejecutar el modelo para imitar el funcionamiento del sistema o proceso real bajo diferentes condiciones.

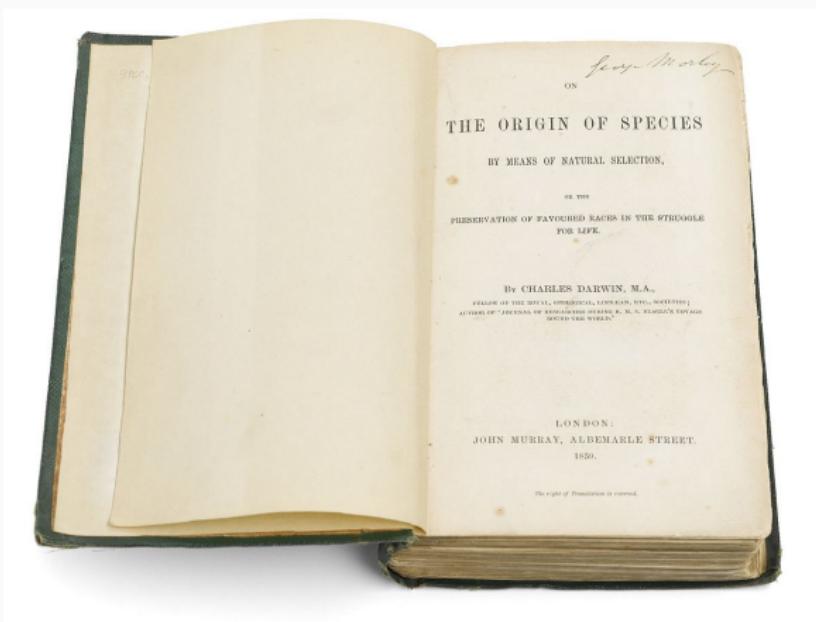
- Control de las **condiciones experimentales** en un ambiente de bajo riesgo.
- Construcción de escenarios contrafácticos.
- Observar el comportamiento del sistema **en un período de tiempo extenso** en un tiempo real acotado.

Los modelos pueden distinguirse de acuerdo al lenguaje en el que están expresados.

# Modelos Físicos

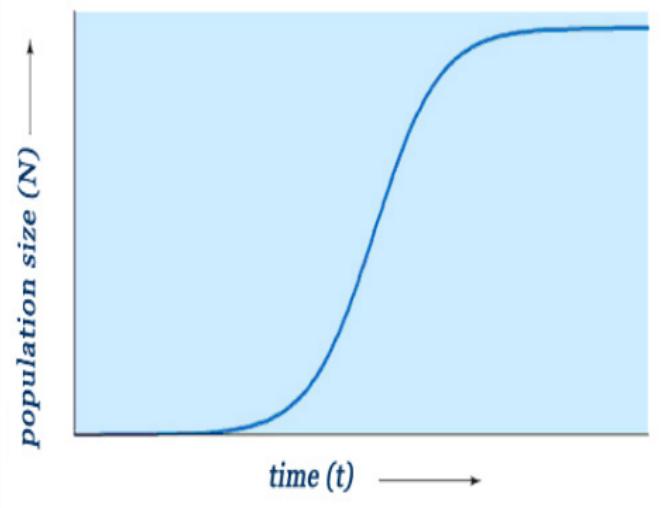


# Modelos Conceptuales



# Modelos Matemáticos

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



# Modelos Computacionales

## Function

### Read Input Data

#### **Initialization:**

Define Initial Population Size; Define Attributes

#### **Start Simulation:**

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

    Choose Next Event → *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**

# Algoritmos

**Definición:** Conjunto de instrucciones no-ambiguas, ordenadas y finitas que permiten, solucionar un problema, realizar un cómputo o llevar a cabo alguna otra actividad.

**Chazelle:** "algorithms as modelling devices".



# Enfoque Computacional

Crecimiento del enfoque computacional vinculado al **avance tecnológico**

Permite trabajar con modelos más complejos / más fieles a la realidad que se intenta representar en comparación con los modelos matemáticos

## Ej. Modelos de epidemias

- Modelo tradicional: SIR conjunto de ecuaciones diferenciales que evolucionan de acuerdo a una tasa de transmisión y una tasa de recuperación
  - Ventajas: Simplicidad en la implementación y computación, estado exacto del sistema dados unos valores de los parámetros
  - Desventajas: Heterogeneidad reducida, abstracción de la dinámica espacial
- Modelo computacional: Modelo Basado en Agentes
  - Ventajas: Patrones de contactos heterogéneos, rol del espacio
  - Desventajas: Mayor tiempo de computación, solución aproximada

## Modelos Computacionales - Tipos

Dos formas de representar el funcionamiento de un sistema:

- Modelos de Tiempo Discreto
- Modelos de Eventos Discretos

# Simulación por Tiempo Discreto

La manera más **intuitiva** de entender un modelo de simulación.

En este tipo de modelo el tiempo avanza a **intervalos fijos**. A cada iteración se actualiza el estado del sistema.

Los modelos de tiempo discreto se pueden utilizar para aproximar procesos continuos, definiendo un intervalo lo suficientemente pequeño.

$T_i = 0, T_f = 9$  — the starting and ending times

$x(0) = 1, \dots, x(9) = 0$  — the input trajectory

$q(0) = 0$  — the initial state

$t = T_i$

while ( $t \leq T_f$ ) {

$y(t) = \lambda(q(t), x(t))$

$q(t + 1) = \delta q(t), x(t))$

}

# Simulación por Eventos Discretos

El sistema o proceso de interés se describe como una **secuencia de eventos** en el tiempo.

Cada evento ocurre en un momento definido y, en ese momento, el sistema se **actualiza**.

Se asume que el sistema **no cambia entre eventos**.

## Componentes Clave:

- **Rutina de Inicialización:** Establece el estado inicial del sistema.
- **Estado del Sistema:** Conjunto de variables que describen el sistema en un momento dado.
- **Reloj:** Registra el tiempo simulado.
- **Lista de Eventos (Cola):** Eventos futuros programados ordenados por tiempo de ocurrencia.

A diferencia de la simulación de *tiempo discreto*, donde el tiempo avanza a intervalos regulares, en la simulación por eventos discretos el tiempo avanza a **intervalos variables** marcados por la ocurrencia de eventos.

## Pasos del Proceso de Simulación:

1. **Inicialización:** Establecer el estado inicial y programar eventos iniciales.
2. **Ejecución del Ciclo Principal:**
  - Extraer el siguiente evento de la lista (el de menor tiempo).
  - Avanzar el reloj al tiempo del evento.
  - Ejecutar las acciones asociadas al evento (actualizar estado).
3. **Terminación:** Finalizar cuando se cumpla la condición de parada (por ejemplo, tiempo simulado alcanzado).

**Nota:** Entre eventos, el estado del sistema permanece constante.

# Simulación por Eventos Discretos en Demografía

La simulación de eventos discretos es particularmente útil en demografía porque:

- En el nivel individual, los procesos son fácilmente expresables como secuencias de eventos (**curso de vida**).
- Permite utilizar herramientas del análisis de **historia de eventos**, como modelos de riesgo proporcional y análisis de supervivencia.
- Facilita la incorporación de heterogeneidad individual y dependencia del estado.

# Laboratorio en R

**Objetivo:** Construir historias de vida simuladas a partir de dos eventos: nacimiento del primer hijo y muerte.

Simulación de un proceso de nacimiento-muerte en una población cerrada.

**Script:** sim\_pop.R

## Actividades:

- Generar tiempos de ocurrencia de eventos basados en distribuciones empíricas.
- Implementar una simulación por eventos discretos utilizando R.
- Analizar la dinámica poblacional resultante y visualizar los resultados.