



FACULTAD DE  
CIENCIAS ECONÓMICAS  
Y DE ADMINISTRACIÓN



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

## Microsimulación

---

Docente: Daniel Ciganda

11<sup>va</sup> Clase  
26 de Noviembre de 2025

## Objetivo: Generación de Historias de Vida Coherentes

Hasta ahora hemos trabajado con componentes aislados. El objetivo del modelo actual es integrar procesos para generar **trayectorias individuales completas**.

### El Desafío de la Consistencia

Queremos generar una población sintética que sea consistente en dos niveles:

1. **Micro-Consistencia (Mecanicista):** Las historias individuales deben tener sentido lógico (ej. una mujer no puede tener hijos después de morir; el matrimonio precede a la concepción marital).
2. **Macro-Consistencia (Agregada):** Si agregamos las historias simuladas, debemos recuperar las tasas observadas de entrada (tasas específicas de mortalidad y fecundidad por edad).

# 1. El Proceso de Mortalidad: Inverse Transform Sampling

Para la mortalidad, utilizamos una técnica exacta basada en el Teorema de la Transformada Inversa que vimos la clase pasada.

- **Entrada:** Tasas específicas de mortalidad observadas ( $m_x$ ).
- **Proceso:**
  1. Construimos la función de riesgo acumulado  $H(t)$  a partir de las tasas.
  2. Sorteamos un número aleatorio  $u \sim U(0, 1)$  para cada individuo.
  3. Resolvemos numéricamente  $H(t) = -\ln(u)$  para encontrar la edad exacta de muerte  $T_{death}$ .

## Resultado Clave

Al usar este método, garantizamos que la distribución de edades de muerte simulada **replicará exactamente** las tasas de mortalidad observadas (dentro del margen de error de Monte Carlo). No hay parámetros "libres" que estimar aquí.

## 2. El Proceso de Fecundidad

A diferencia de la mortalidad, la fecundidad se modela como un proceso estocástico paso a paso, gobernado por mecanismos biológicos y sociales:

- **Reloj Social:** Edad al matrimonio ( $T_{mar} \sim LogNormal(\mu, \sigma)$ ).
- **Reloj Biológico:** Fecundabilidad natural  $\phi(t)$  que evoluciona con la edad (parámetros  $\beta_1, \beta_2$ ).
- **Restricciones:** Períodos de no-susceptibilidad tras cada nacimiento (parámetro  $\delta$ ).

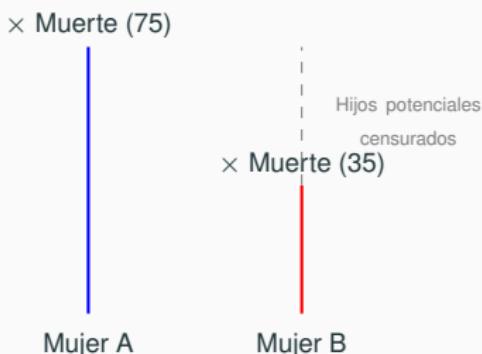
**Diferencia con la Mortalidad:** Aquí no forzamos las tasas observadas ( $f_x$ ) directamente. Las tasas agregadas  $f_x$  son un *resultado emergente*, no un input directo.

### 3. Integración: Censura y Competencia de Riesgos

La clave de la microsimulación dinámica es manejar cómo interactúan estos procesos. En este modelo, utilizamos una estructura de **riesgos competitivos**.

- La mortalidad actúa como un **estado absorbente** que censura la fecundidad.
- Definimos el "Tiempo de Riesgo Efectivo" para cada mujer  $i$ :

$$Fin_{riesgo,i} = \min(\text{Edad}_{max}, T_{death,i} - 9 \text{ meses})$$



Esto genera heterogeneidad realista: algunas mujeres tienen pocos hijos simplemente porque sus vidas fueron más cortas (efecto de composición), no porque su fecundabilidad biológica fuera menor.

## El Resultado: Microdatos

El modelo no devuelve tasas agregadas, sino una base de datos de historias de vida. Esto nos permite analizar distribuciones que las tasas ocultan.

| ID  | Age_Death | Age_Marriage | Birth_1 | Birth_2 |
|-----|-----------|--------------|---------|---------|
| 1   | 78.4      | 22.1         | 24.5    | 28.1    |
| 2   | 34.2      | 25.0         | 29.3    | NA      |
| 3   | 5.1       | NA           | NA      | NA      |
| ... | ...       | ...          | ...     | ...     |

- **ID 2:** Tuvo un hijo, pero su fecundidad futura fue truncada por muerte prematura.
- **ID 3:** Nunca se casó (o murió antes de casarse), por lo tanto, paridad 0.

Hemos logrado consistencia en mortalidad (vía Transformada Inversa), pero... ¿qué pasa con la fecundidad?

- Los valores de los parámetros del modelo de fecundidad ( $\mu, \sigma, \beta_1, \beta_2, \delta$ ) que generaron los datos, son desconocidos.
- ¿Cómo encontramos los valores que generan trayectorias compatibles con los datos?

## Simulation-Based Inference (SBI / ABC)

1. Simularemos millones de trayectorias con distintos parámetros.
2. Compararemos los resultados agregados simulados ( $TFR_{sim}$ ) con los datos reales ( $TFR_{obs}$ ).
3. Nos quedaremos con los parámetros que minimicen la distancia entre simulación y realidad.