



FACULTAD DE  
CIENCIAS ECONÓMICAS  
Y DE ADMINISTRACIÓN



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

## Microsimulación

---

Docente: Daniel Ciganda

8<sup>va</sup> Clase

22 de Octubre de 2025

# De ABM a la Microsimulación Tradicional

- En la primera parte, trabajamos con **Modelos Basados en Agentes (MBA/ABM)**.
  - Enfatizan **interacciones explícitas** y *dinámica emergente*.
  - Útiles para estudiar mecanismos, redes y procesos fuera de equilibrio.
- La **microsimulación tradicional (MS)** también es *bottom-up*, pero:
  - Se centra en **proyectar trayectorias de vida** bajo **reglas/leyes** y **transiciones estimadas**.
  - Interacciones entre unidades suelen ser *indirectas* (vía totales, mercados, cupos).
- **Diferencia clave:** ABM pregunta “*¿qué emerge de la interacción?*”; MS pregunta “*¿cómo evolucionará la población si operan estas transiciones y reglas?*”.

# ¿Qué es la Microsimulación?

## Definición

Técnica que simula **unidades individuales** (personas, hogares, empresas) a lo largo del **tiempo** aplicando **probabilidades de transición** y **reglas** para producir resultados **agregados y distributivos**.

## Idea central:

- Partimos de una **población base** (muestra representativa o población sintética).
- Para cada unidad y periodo, aplicamos **transiciones y actualizamos** su vector de estado.
- Al **agregar** miles/millones de trayectorias, obtenemos indicadores macro y **distribuciones** (no solo promedios).

## Orígenes y Motivación: la visión de Orcutt

- **Años 50–70:** Guy Orcutt propone modelar “desde abajo”: individuos/hogares en lugar de promedios agregados.
- **Motivación:** las políticas (impuestos, pensiones, elegibilidad) tienen efectos no lineales y heterogéneos.
  - Los promedios ocultan **umbrales** y **cliffs** (p. ej. pérdida de beneficios).
- **Propuesta:** simular **micro-decisiones y eventos** y luego **agregar**.
  - Permite medir impacto distributivo, trayectorias y casuísticas con más realismo.

# Los Componentes Clave de un Modelo de MS

Un modelo de microsimulación tradicional tiene tres ingredientes principales:

## 1. Población Base Microdatos

representativos (censo,  
encuesta, registros) o  
**población sintética.**

Incluye variables  
demográficas y  
socioeconómicas.

## 2. Módulos de Transición Ecuaciones

(ej. logit,  
hazard) que dan  
 $P(\text{evento} | X)$ .

Ej.:  
 $\text{logit}(P(\text{muerte})) = \beta_0 + \beta_1 \text{edad} + \beta_2 \text{sexo} + \dots$

## 3. Motor de Simulación

Itera en el **tiempo**,  
simulando eventos via  
Monte Carlo, **actualiza**  
**estados** y computa  
variables derivadas  
(impuestos, pensión,  
elegibilidad).

- **Estática vs. Dinámica**
  - *Estática*: un periodo; reponderación y reglas ⇒ impactos distributivos inmediatos.
  - *Dinámica*: múltiples periodos; **memoria y trayectorias** (curso de vida).
- **Tiempo**: *discreto* (anual/mensual) vs. *dirigido por eventos* (tiempo continuo).
- **Población**: *cerrada* (sin nac./mig.) vs. *abierta* (entradas/salidas).

- **Discreto ( $t=1,2,\dots$ ):** más simple; orden de eventos importa.
  - Secuencias típicas: *edad* → *mortalidad* → *estado civil* → *fecundidad* → *empleo* → *ingresos* → *impuestos/beneficios*.
- **Por eventos (tiempo continuo):** usa *tasas de riesgo y competencia de riesgos*.
  - $$h_k(t | X) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(\text{evento } k \text{ en } [t, t + \Delta t) | \text{no evento antes}, X)}{\Delta t}$$
- **Resolución de conflictos:** eventos simultáneos, prioridades, reglas de desempate.

## El Loop de Microsimulación (Workflow)

1. **Inicialización:** limpiar/armonizar microdatos; crear población base; fijar semillas.
2. **Cómputo de transiciones:** para cada unidad,  $P(\text{evento} \mid X_t)$  según módulos.
3. **Sorteos Monte Carlo:** realizar draws; manejar *riesgos competitivos*.
4. **Actualización:** cambiar estados; recalcular variables derivadas (impuestos, elegibilidad, pensión).
5. **Alineación/Calibración:** ajustar a totales/targets (población, empleo, mortalidad, recaudación).
6. **Escenarios:** comparar *baseline* vs. *reformas/políticas*.

## Datos: fuentes, construcción y población sintética

- **Fuentes:** encuestas (ingresos, empleo, salud), censos, registros administrativos, historias clínicas/otros datasets específicos.
- **Construcción de base:**
  - *Uso directo* de microdatos (limpieza, imputaciones, armonización).
  - *Re ponderación* a márgenes conocidos por edad/sexo/ región, etc.
- **Parámetros:** estimación de regresiones/hazards, matrices de transición, o reglas normativas.

# Principales Tradiciones y Usos

- **Tributaria/Beneficios (estática):** impuestos, transferencias, pobreza, incentivos al trabajo.
  - Cambios en tramos, créditos, elegibilidad; *incidencia* por decil, hogares con niños, etc.
- **Demografía/Envejecimiento (dinámica):** uniones, fecundidad, educación, migración, mortalidad.
  - Proyecciones de estructura por edad, hogares, demanda de servicios.
- **Salud (historia natural):** costo-efectividad tratamientos, carga de enfermedad.
- **Mercado laboral y pensiones:** carreras, aportes, tasas de reemplazo, edad de retiro.

# Fortalezas y Limitaciones de la MS

## Fortalezas

- Detalle **distributivo** y **heterogeneidad**.
- Reglas **realistas** (umbrales, elegibilidad, topes).
- **Contrafactuales** limpios para evaluación de políticas.
- Integra **encuestas** y **registros** con alineación.

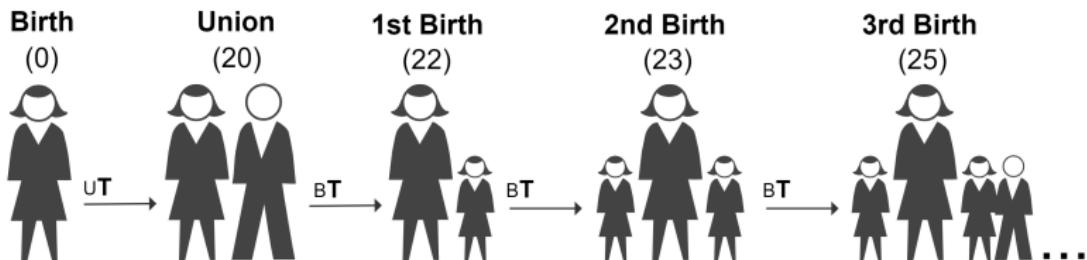
## Limitaciones

- **Intensiva en datos** y supuestos de transición.
- **Sensibilidad** a alineación/parametrización.
- Costos de **cómputo** y **validación** multicapas.
- Interacciones explícitas **limitadas** (vs. ABM).

- **Micro-validación:** distribución de variables clave, correlaciones, coherencia interna.
- **Macro-validación:** totales y tasas vs. series externas (backcasting).
- **Pruebas de sensibilidad:** parámetros, orden de eventos, supuestos de alineación.
- **Reproducibilidad:** *scripts* orquestados, *logs*, y reportes automatizados.

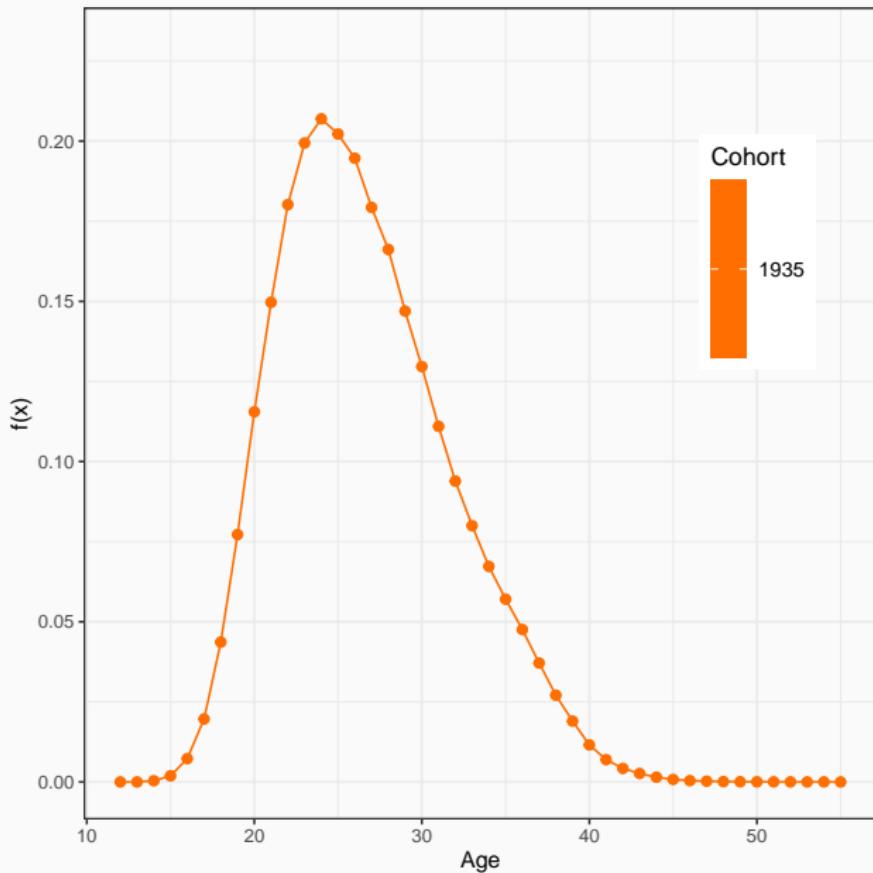
## ¿Cuándo usar (y cuándo no) Microsimulación?

- **Usar MS cuando:**
  - Importa la **distribución** (no solo el promedio).
  - Las reglas tienen **umbrales/no linealidades**.
  - Existe **microdato** razonable y **targets** agregados confiables.
- **Evitar MS si:**
  - La pregunta es puramente **agregada** y sin heterogeneidad relevante.
  - No hay datos para **parametrizar ni validar**.
  - Se requieren **interacciones complejas** (considerar ABM).

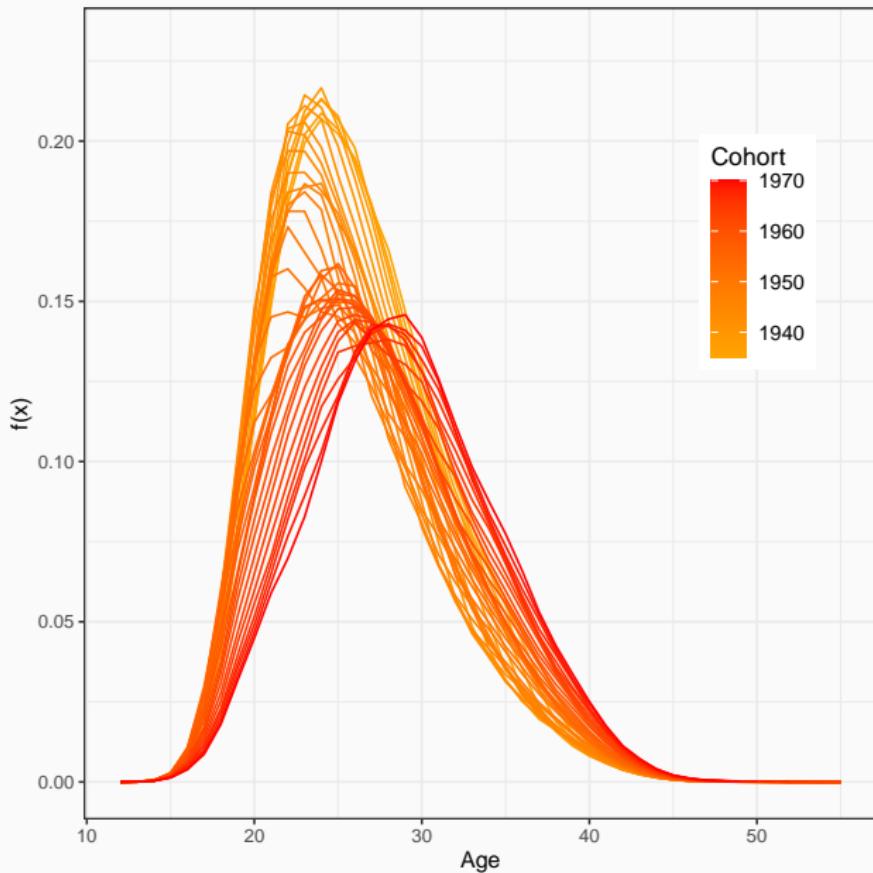


**Figure 1:** El Proceso Reproductivo en un Contexto de Fecundidad Natural

**Figure 2:** Tasas Específicas de Fecundidad por Edad de una Cohorte, 1935, Francia



**Figure 3:** Tasas Esp. de Fecundidad por Edad de una Cohorte, 1935-1970, Francia



## Tasas específicas de Fecundidad por edad de una Cohorte

Tasas específicas de fecundidad por edad:

$${}_n f_x = \frac{{}_n B_x}{{}_n E_x}$$

$n$  = el tamaño del intervalo

$B$  = nacimientos asociados a mujeres con edad en el intervalo  $[x, x + n)$

$E$  = nro. de años persona aportados en el intervalo  $[x, x + n)$

Tasa Global de Fecundidad:

$$TGF = n \cdot \sum_{x=\alpha}^{\beta-n} {}_n f_x$$

# Modelos de Tasas Específicas de Fecundidad (ASFR): Enfoques

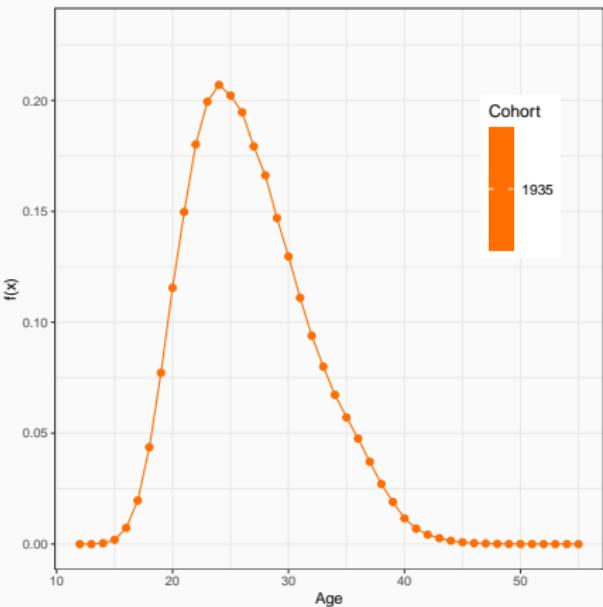
El problema es generalmente abordado desde el nivel **agregado**.

## Enfoques

- No Paramétricos — Splines
- Paramétricos — Coale and Trussell (1978)

Modelos evaluados con respecto a:

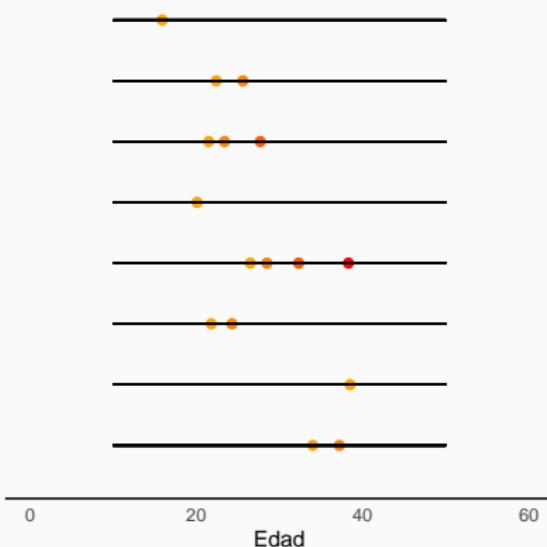
- \* Qué tan bien se ajustan a los datos
- \* La **interpretabilidad** de sus parámetros



# El Modelo: El Proceso Reproductivo en Régimen de Fecundidad Natural

4 piezas fundamentales:

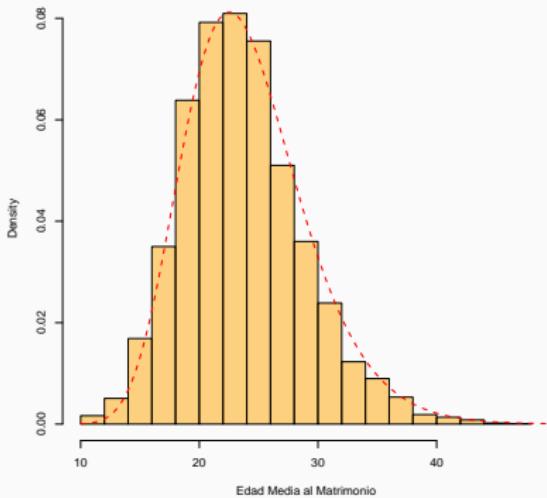
1. Inicio del Proceso: **Edad al matrimonio**
2. Probabilidad de concebir: **Fecundabilidad**, Gini (1924)
3. Período de **no-susceptibilidad**: embarazo + amenorrea postparto
4. **Fin del Proceso**: Disminución del riesgo de concebir hasta la menopausia



**Figure 4: Trayectorias Reproductivas**

## 1. Inicio del Proceso: Edad al matrimonio

$$X_m \sim \text{Lognormal}(\mu_m, \sigma_m)$$



## Fecundabilidad: Probabilidad de Concebir

2. **Fecundabilidad:** “*La probabilidad de concebir de una mujer casada en un mes, en ausencia de prácticas Malthusianas.*”

Llamamos  $\phi$  a la probabilidad de concebir en el mes.



**Figure 5:** Corrado Gini

## Modelo del Primer Nacimiento

Datos: Frecuencia mensual de **nacimientos** después del casamiento

Si denotamos fecundabilidad como  $\phi$  y asumimos que las concepciones empiezan inmediatamente después del casamiento:

Proporción de **concepciones** 1<sup>er</sup> mes =  $\phi \implies \phi$  **nacimientos** 9 meses después

Un proporción de mujeres  $1 - \phi$  no concebirá y lo intentará el mes siguiente

Durante el 2<sup>do</sup> mes una proporción  $(1 - \phi)\phi$  concebirá y dará a luz 9 meses mas tarde

Proporción de concepciones en el mes  $n$  después de la union será:

$$(1 - \phi)^n \phi$$

Para:  $n = 0, 1, 2, \dots$

# Distribución Geométrica

Distribución de probabilidad discreta:

- **Primera versión:**  $X$  representa el número de ensayos Bernoulli necesarios para obtener el primer éxito:

$$P(X = k) = (1 - p)^{k-1} p$$

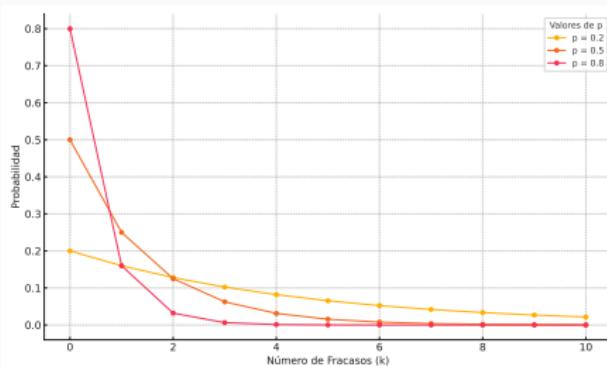
Para:  $k = 1, 2, 3, \dots$

- **Segunda versión:**  $Y = X - 1$  representa el número de fracasos antes del primer éxito.

$$P(Y = k) = (1 - p)^k p$$

Para:  $k = 0, 1, 2, \dots$

**Figure 6:** Distribución Geométrica



Es un caso especial de la distribución Binomial Negativa que modela la probabilidad de  $n$  éxitos.

En R `rbinom()`

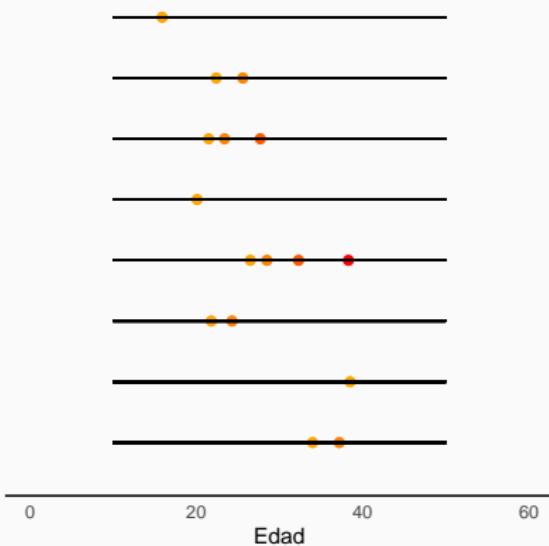
## Primera parte del laboratorio

Simulación de tiempos de espera y edades a distintas paridades.

# El Modelo: El Proceso Reproductivo en Régimen de Fecundidad Natural

4 piezas fundamentales:

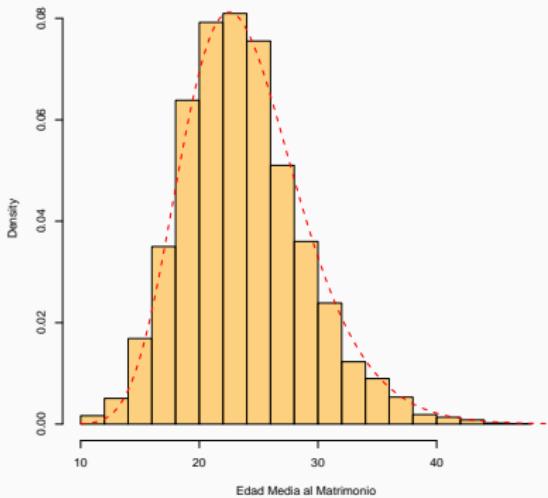
1. Inicio del Proceso: **Edad al matrimonio**
2. Probabilidad de concebir: **Fecundabilidad**, Gini (1924)
3. Período de **no-susceptibilidad**: embarazo + amenorrea postparto
4. **Fin del Proceso**: Disminución del riesgo de concebir hasta la menopausia



**Figure 7: Trayectorias Reproductivas**

## 1. Inicio del Proceso: Edad al matrimonio

$$X_m \sim \text{Lognormal}(\mu_m, \sigma_m)$$



2. **Fecundabilidad:** “*La probabilidad de concebir de una mujer casada en un mes, en ausencia de prácticas Malthusianas.*”

Llamamos  $\phi$  a la probabilidad de concebir en el mes. Tenemos una concepción cuando:

$$\phi \geq u$$

$$\text{con } u \sim \mathcal{U}(0, 1)$$



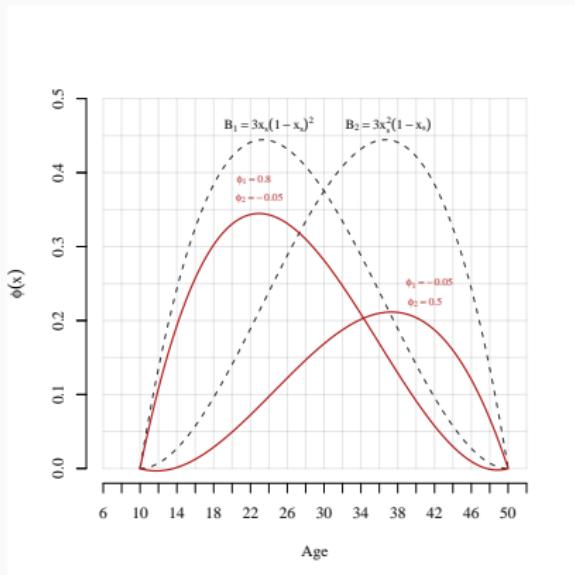
Figure 8: Corrado Gini

## 4. Estructura por edad del riesgo de concebir

Para modelar la evolución de la probabilidad de concebir con la edad usamos dos funciones base y dos coeficientes.

Los coeficientes  $\beta$  permiten manipular la forma de la curva asignando un “peso” a cada una de las funciones base.

$$\phi(t) = B_1^3(t)\phi_1 + B_2^3(t)\phi_2$$



# Parámetros y Algoritmo

Parámetros:

1. Media edad al matrimonio  $\mu_m$
2. Desv. St. edad al matrimonio  $\sigma_m$
3. Máximo fecundabilidad  $\phi_1$
4. Caída fecundabilidad  $\phi_2$
5. Período de no susceptibilidad  $\delta$

```
initialization
create initial cohort of women
assign  $x_j$ ,  $\phi(x_j)$ , and  $wts_j$ 

while time < end_time do
    update t
    update  $x_j$  and  $wts_j$ 
    update  $\phi(x_j)$ 

    married at t
    set marriage status = 1
    set age at union = age

    back to susceptible state at t
    set susceptible status = 1

    conception
    draw  $u_j \sim \text{Uniform}(0, 1)$ 

    if  $u_j < \phi(x_j)$  then
        set wt to birth = pregnancy (9
            months)
        set susceptible status = 0
        set wt to susceptible =
            pregnancy + length of
            non-susceptibility period
    end

    birth at t
    children = children + 1
    age at  $j^{th}$  birth = age

end
compute  $f^\dagger(x)$  from reproductive histories
```

## Se parecen a MS (orientados por los datos)

- Diseñados para **ajustar datos observados** (*targets* agregados: ASFR, TFR, edad al matrimonio).
- **Menor necesidad de microdatos** ricos: se calibran con **tablas/series publicadas**.
- **Sin** redes, **sin** retroalimentaciones complejas, **sin** interacciones explícitas.

## Se parecen a ABM (mecanicistas)

- **Generativos**: especifican mecanismos simples (fecundabilidad, no-susceptibilidad, edad al matrimonio).
- Modelado de mecanismos en lugar de modelado estadístico de probabilidades de transición.

## Idea clave

Son modelos **intermedios**: **orientados a datos** y **mecanicistas**, estimados con **agregados**, útiles cuando no disponemos de microdatos detallados pero queremos trayectorias coherentes con la evidencia. **Parámetros** con significado demográfico directo).

## Simular un evento con probabilidad $\phi$

- Queremos decidir si ocurre un evento con probabilidad  $\phi \in [0, 1]$  (p.ej., concepción en un mes).
- Procedimiento (**Bernoulli por uniforme**):
  - Sortear  $u \sim \mathcal{U}(0, 1)$ .
  - Si  $u < \phi \Rightarrow$  **evento**; si  $u \geq \phi \Rightarrow$  **no evento**.
- Intuición:** la probabilidad de caer en  $[0, \phi]$  dentro de  $[0, 1]$  es exactamente  $\phi$ .



## ¿Por qué funciona? Frecuencia de eventos $\approx \phi$

- Si repetimos el sorteo muchas veces, la proporción de  $u < \phi$  se acerca a  $\phi$ .
- Debajo:  $N$  sorteos de  $u \sim \mathcal{U}(0, 1)$ . Puntos verdes:  $u < \phi$ ; grises:  $u \geq \phi$ .

$N = 500$  sorteos, eventos = 173  $\hat{p} = 0.34999 \approx 0.35$ .

