**1) Conceptualización — variables principales y ciclos causales (resumen matemático)**

Variables (mínimas recomendadas):

* = población (stock) de estudiantes matriculados en **Teoría de Sistemas 1** en el semestre .
* = población (stock) de estudiantes matriculados en **Teoría de Sistemas 2** en el semestre .
* = nuevos ingresos (estudiantes que ingresan al curso TS1 en ).
* = flujo de aprobados de TS1 que pasan a TS2 en .
* = flujo de repitentes que permanecen o vuelven a inscribirse en TS1 en .
* = flujo de deserciones/abandono desde TS1 en .
* = análogos para TS2.
* = número de secciones ofrecidas (puede ser variable de política).
* = capacidad por sección (estática o variable).
* Indicadores que afectan tasas: (calidad docente/recursos), (sobrecupo en TS1), etc.

Ciclos causales importantes (en palabras):

* Más estudiantes → mayor sobrecupo por sección → menor calidad percibida → menor tasa de aprobación → más repitentes → más estudiantes (ciclo reforzador de congestionamiento).
* Políticas de abrir más secciones → reduce sobrecupo → aumenta tasa de aprobación → reduce repitencia (bucle balancing).

**2) Modelo de stocks y flujos (discreto por semestre)**

Trabajaremos con **pasos discreto** (Δt = 1 semestre) porque las inscripciones y cambios ocurren por semestres.

Ecuaciones básicas:

Stocks (integrales discretas):

donde

Flujos (definidos por probabilidades/tasas por semestre):  
Definimos probabilidades por semestre para TS1:

y deben cumplir (si modelas mutuamente excluyentes):

Entonces los flujos son:

Análogo para TS2:

Relación entre cursos:

* Los aprobados de TS1 que avancen se incorporan como entradas (no necesariamente inmediatas) a TS2:

donde es el retardo de pasos entre aprobar TS1 y matricular TS2 (generalmente 0 o 1 semestres según reglas locales).

**3) Formas funcionales sugeridas (cómo dependen las probabilidades de otras variables)**

En vez de tratar como constante, proponemos funciones que reflejen la dinámica:

1. **Efecto de sobrecupo (overcrowding)**:  
   Define densidad por sección:

Si hay sobrecupo. Modela impacto en la tasa de aprobación por ejemplo con una función exponencial:

donde mide sensibilidad a sobrecupo.

1. **Efecto de calidad docente / recursos** :  
   Podemos modelar como:

por ejemplo una función logística:

y escalar para obtener probabilidades en un rango razonable.

1. **Dependencia temporal (tendencia/estacionalidad) en** :  
   Modela nuevos ingresos con:

* Tendencia lineal/exponencial
* Ruido y componente estocástico: o con
* O usar un AR(1):

1. **Políticas: apertura de secciones**:  
   Si la universidad decide abrir secciones en función de demanda:

o politicamente:

donde incorpora retardos administrativos.

**4) Parámetros y generación de variables exógenas**

Parámetros clave (valores iniciales tentativos — debes calibrarlos con tus datos históricos):

* : 0.45 – 0.75 (dependiendo de la dificultad).
* : 0.05 – 0.20.
* (capacidad por sección): 30–60.
* (sensibilidad al sobrecupo): 0.5–2.0.
* (desviación de nuevos ingresos): según varianza histórica.

Generación de :

* Si tienes datos históricos: estima media por semestre y varianza; usa distribución empírica o Poisson/Normal.
* Si no: sugiere .

Elección de distribución para variables exógenas:

* Conteos (nuevos inscritos): **Poisson** o **NegBin** (si sobredispersión).
* Tasas pequeñas (p\_drop): **Beta** o logística con ruido.

**5) Calibración y validación (matemática)**

**Objetivo de calibración**: ajustar parámetros para minimizar el error entre y los datos observados en el período histórico.

Función objetivo (ejemplos):

* Minimizar MSE:
* O usar MAPE para proporcionales:

Algoritmos de optimización:

* Búsqueda de rejilla (grid search) para parámetros discretos.
* Optimización local (Nelder–Mead) o global (differential evolution, CMA-ES).
* Si hay incertidumbre, usar calibración por Monte Carlo + selección por ajuste estadístico.

Validación:

* Divide datos en entrenamiento (calibración) y validación (ej.: últimos 4 semestres).
* Métricas: RMSE, MAPE, Theil’s U.
* Gráfica comparativa: observados vs simulados por semestre (plot time series).
* Prueba de cambios externos (shock): validar que el modelo responde de manera razonable a eventos conocidos (p.ej. pandemia, cambios curriculares).

**6) Análisis de sensibilidad y experimentos (matemáticas)**

1. **Análisis local**: Variar un parámetro y evaluar efecto en al cabo de semestres.
2. **Análisis global (Monte Carlo)**: asignar distribuciones a parámetros inciertos (ej. ) y correr réplicas (ej. 1000) para obtener bandas percentiles (p. ej. percentil 10–90).
3. **Tornado / PRCC**: para identificar parámetros con mayor influencia en la salida (PRCC = Partial Rank Correlation Coefficient).
4. **Experimentos de política**:
   * Abrir +1 sección cada semestre vs no abrir.
   * Mejorar (calidad docente): simular aumento en .
   * Shock de demanda: aumenta 20% por 2 semestres.

**7) Implementación en VENSIM — ejemplos de ecuaciones (listas para copiar)**

Asumimos semestre. En Vensim usarías INTEG y flujos. A continuación presento ecuaciones tipo Vensim (sintaxis aproximada legible):

Stocks:

S1 = INTEG (In1 - Out1, S1\_init)

S2 = INTEG (In2 - Out2, S2\_init)

Flujos:

In1 = N + R1

Out1 = P1 + D1

P1 = p\_pass1 \* S1

D1 = p\_drop1 \* S1

R1 = p\_repeat1 \* S1

Probabilidades (ejemplo con efecto sobrecupo exponencial):

densidad\_S1 = S1 / (Sec \* C)

p\_pass1 = p\_pass1\_base \* EXP(-beta1 \* MAX(0, densidad\_S1 - 1))

p\_drop1 = p\_drop1\_base ; (puede depender inversamente de p\_pass1)

p\_repeat1 = 1 - p\_pass1 - p\_drop1

Entradas a S2 (con retardo si aplica):

In2 = DELAYN(P1, tau\_12, P1\_initial) + R2

(usar DELAYN si quieres modelar retraso de inscripción; si no, usar In2 = P1 + R2)

Política de secciones:

Sec = MAX(MIN\_Sec, CEILING(S1 / C))

(en Vensim CEILING podría no existir; usa INT(S1/C)+1 con cuidado).

Generación de N (simplificada):

N = Normal\_approx(mean\_N(t), sigma\_N) ; en Vensim usar función RANDOM NORMAL si está disponible

**8) Valores iniciales y ejemplo numérico (propuesta)**

Supongamos que comienzas en semestre con:

* ,
* (capacidad)
* promedio 200 por semestre,

Con este set de parámetros podrás simular 8 semestres (2026–2029 son 8 semestres si empiezas en 2026-1). Ajusta con tus datos reales.

**9) Métricas y entregables que pide tu enunciado (cómo mostrarlos)**

Según el enunciado debes:

* Mostrar **ciclos causales** (haz el diagrama CLD).
* Mostrar **modelo de flujos y niveles** (S&R diagram en Vensim).
* Incluir **ecuaciones matemáticas** (las que te di).
* Definir **distribuciones** para variables exógenas (p.ej. Poisson(empírica) o Normal).
* **Validar** contra poblaciones recientes (usa RMSE, MAPE).
* Proyectar **2026, 2027, 2028, 2029**: haz simulaciones base + 3 escenarios (optimista, pesimista, política).

Tablas/plots a entregar:

* Serie histórica vs simulada (por semestre) para S1 y S2.
* Bandas de incertidumbre (p. ej. percentiles 10–90) para proyecciones.
* Sensitivity tornado o PRCC.
* Resultados de experimentos de política (tablas con % cambio en población en 2029 vs base).

**10) Checklist práctico / pasos siguientes (qué hacer ahora)**

1. **Recolectar datos históricos** (por semestre): , número de secciones, capacidad, tasas de aprobación/aprobados si están disponibles (mejor).
2. **Configurar VENSIM** con las ecuaciones de la sección 7 (usar Δt = 1 semestre).
3. **Calibrar** parámetros: optimizar para minimizar MSE en el periodo histórico (ver sección 5).
4. **Validar** en periodo separado y reportar métricas.
5. **Correr Monte Carlo** (≥500 réplicas) para incertidumbre.
6. **Generar proyecciones** 2026–2029 bajo 3 escenarios: base, optimista (mejora p\_pass +10%), pesimista (reducción N -15%).
7. **Documentar**: CLD, S&R, ecuaciones, parámetros, método de calibración, gráficos y conclusiones.

**11) Recursos adicionales (breve)**

* Usa PRCC o Tornado para sensibilidad.
* Para calibración por lotes: scipy.optimize (si vas fuera de Vensim) o Vensim DLL (si lo tienes).
* Para Monte Carlo en Vensim: usar funciones RAND y correr múltiples simulaciones o exportar modelo a Python si quieres mayor control.