DOCUMENTO TÉCNICO DE ARTICULACIÓN PEDAGÓGICA Y MODELADO ESTOCÁSTICO

Uso previsto: Especificación de contexto y directiva para Agentes de IA en el diseño curricular y generación de contenidos.

---

1. Metadatos y Contexto Curricular

- **Asignatura Base (2º Año – 2º Semestre):** Estadística Aplicada y Modelos de Regresión (64 hs).
- **Asignatura Destino (4º Año – 1º Semestre):** Teoría de Juegos y Sistemas Multiagente (48 hs).
- **Cátedra:** Licenciatura en Ciencia de Datos / Ingeniería en Inteligencia Artificial – UCA.
- **Docente Titular / Responsable:** Prof. Ivan Gonzalo Vilaboa.
- **Objetivo de este Documento:** Definir la trayectoria de aprendizaje vertical donde las **Cadenas de Markov (CM)** actúan como el núcleo conceptual y computacional que conecta la inferencia probabilística con la Teoría de la Decisión, la Teoría de Juegos y la Simulación Basada en Agentes (ABM).

---

2. La Escalera Conceptual: De la Probabilidad a los Sistemas Multiagente

Los agentes de IA que generen material, ejercicios, evaluaciones o notebooks deben respetar y construir sobre los siguientes 4 niveles progresivos de modelado:

```
[Nivel 1: 2° Año - EAyMR]
Cadenas de Markov Estocásticas Puras:  P(S_{t+1} | S_t)
            |
            ▼  (Se agregan Acciones 'A' y Utilidad/Recompensa 'R')
[Nivel 2: 4° Año - Teoría de la Decisión]
Procesos de Decisión de Markov (MDP):  P(S_{t+1} | S_t, A_t)  [Juegos vs. Naturaleza]
            |
            ▼  (Se agregan Múltiples Jugadores con Interacción Estratégica)
[Nivel 3: 4° Año - Teoría de Juegos]
Juegos Estocásticos de Markov:         P(S_{t+1} | S_t, a_1, a_2, ..., a_N) → Nash
            |
            ▼  (Se escala a Poblaciones de Agentes Autónomos y Espacio)
[Nivel 4: 4° Año - Sistemas Multiagente / ABM]
Simulación Basada en Agentes:         Reglas de transición individuales → Comportamiento Emergente
```

---

3. Especificaciones Temáticas por Nivel

Nivel 1: Base en 2º Año (Estadística Aplicada y Modelos de Regresión)

- **Foco:** Entender la pérdida de memoria (propiedad de Markov), el álgebra de matrices estocásticas y la simulación discreta.
- **Conceptos Clave:**
  1. **Propiedad de Markov:** $P(X_{t+1} = s_j \mid X_t = s_i, \dots, X_0 = s_0) = P(X_{t+1} = s_j \mid X_t = s_i) = p_{ij}$.
  2. **Matriz de Transición (P):** Matriz estocástica por filas ($\sum_j p_{ij} = 1$).
  3. **Ecuaciones de Chapman-Kolmogorov:** Evolución temporal $\pi^{(t)} = \pi^{(0)} P^t$.
  4. **Distribución Estacionaria (π):** Vector de equilibrio invariante $\pi = \pi P$ tal que $\sum \pi_i = 1$.
  5. **Implementación en Python:** Simulación de trayectorias individuales con `np.random.choice` y resolución del sistema lineal $(\mathbf{P}^T - \mathbf{I})\boldsymbol{\pi}^T = \mathbf{0}$.

Nivel 2: Puente a la Teoría de la Decisión (Juegos contra la Naturaleza)

- **Foco:** El entorno no es estático: el decisor puede intervenir mediante acciones bajo incertidumbre.
- **Conceptos Clave:**
  1. Criterios de decisión bayesianos y valor esperado de la información.

2. Introducción a los **Procesos de Decisión de Markov (MDP)**: (S, A, P_a, R, γ).
3. Racionalidad acotada y árboles de decisión estocásticos.

Nivel 3: Teoría de Juegos (Juegos entre Jugadores)

- **Foco:** La transición del sistema ya no depende de un solo agente o del azar puro, sino de la acción combinada de agentes estratégicos.
- **Conceptos Clave:**
  1. Juegos de suma cero y suma no nula.
  2. Estrategias mixtas (distribuciones de probabilidad sobre acciones).
  3. Búsqueda de **Equilibrios de Nash** en juegos dinámicos y repetidos.

Nivel 4: Simulación Basada en Agentes (ABM)

- **Foco:** Dinámicas poblacionales complejas y propiedades emergentes.
- **Conceptos Clave:**
  1. Agentes como autómatas o máquinas de estado finito markovianas interactuando en red o grilla espacial.
  2. Transición micro $\rightarrow$ macro: cómo reglas de probabilidad locales generan equilibrios globales estables, ciclos o caos.

---

4. Matriz de Articulación para el Diseño de Actividades Prácticas

Hito / Capacidad Práctica	Requisito en 2º Año (EAyMR)	Continuación en 4º Año (Teoría de Juegos / ABM)
Modelado de Estados	Definir estados disjuntos (S) y armar la matriz P.	Definir el espacio de estados del agente y su matriz de pagos (payoff matrix).
Cálculo de Equilibrio	Calcular la distribución estacionaria analítica π.	Calcular el Equilibrio de Nash y distribuciones estacionarias poblacionales.
Simulación Computacional	Simular la trayectoria de 1 variable a lo largo de T pasos.	Simular N agentes simultáneos interactuando en un simulador ABM (Mesa / Python).
Toma de Decisiones	Inferencia condicional (Naive Bayes y probabilidades a posteriori).	Políticas de decisión óptimas $\pi^*(s)$ y aprendizaje por refuerzo (Reinforcement Learning).

5. Directivas para los Agentes de IA

Cuando los agentes reciban tareas vinculadas a este corpus: 1. **Evitar tratar a las Cadenas de Markov como un tema aislado:** Contextualizarlas siempre como la base matemática de los sistemas dinámicos y la toma de decisiones autónoma. 2. **Priorizar el enfoque constructivo / de simulación:** Además de resolver $\pi = \pi P$ analíticamente, incluir siempre la simulación algorítmica de trayectorias en Python. 3. **Mantener la consistencia notacional:** - $S = \{s_1, \ldots, s_K\}$ para estados. - $P = [p_{ij}]$ para la matriz de transición. - $\pi = [\pi_1, \ldots, \pi_K]$ para distribuciones de probabilidad sobre los estados. - $A = \{a_1, \ldots, a_M\}$ para el conjunto de acciones en etapas posteriores.