

**Universidad Panamericana**

Facultad de Ingeniería

**Maestría en Ciencia de Datos**

**Aprendizaje de Máquina II**

# **Proyecto Final**

*Flocking y Foraging Cooperativo mediante  
Aprendizaje por Refuerzo Multiagente*

**Alumno:**

Enrique Ulises Báez Gómez Tagle

**Profesor:**

Luis Fernando Lupián Sánchez

## Resumen

Este proyecto investiga cómo agentes individuales de aprendizaje pueden lograr coordinación colectiva en entornos con recursos escasos mediante aprendizaje por refuerzo multiagente. Se implementó un sistema que combina comportamientos de *flocking* bioinspirados (cohesión, alineación, separación) con forrajeo competitivo en parches de recursos con regeneración logística. Se aborda el desafío de la coordinación emergente bajo escasez extrema de recursos, particularmente cuando el número de agentes excede la cantidad de parches disponibles.

Se utilizó Proximal Policy Optimization (PPO) con arquitecturas de redes neuronales recurrentes (LSTM) para entrenar políticas individuales de manera independiente en cuatro niveles de dificultad progresiva: Easy (5 agentes, 20 parches), Medium (10 agentes, 18 parches), Hard (10 agentes, 15 parches) y Expert (12 agentes, 10 parches). Los datos se generaron mediante simulaciones en entornos PettingZoo con espacios de observación de 13 dimensiones y 5 acciones discretas. El entrenamiento empleó normalización vectorizada y funciones de recompensa multiobjetivo que balancean forrajeo con comportamientos de flocking.

Los resultados demuestran escalabilidad exitosa desde abundancia (87.22 % eficiencia) hasta escasez extrema (37.12 % eficiencia), validando que la sinergia entre flocking y forrajeo es esencial en todos los niveles. Se observaron comportamientos cooperativos emergentes como división dinámica de grupos, rotación eficiente de parches y compartición de recursos, sin requerir coordinación explícita.

# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción y Planteamiento del Problema</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Marco Teórico y Trabajos Relacionados</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Datos</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Metodología y Modelos</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Experimentos y Resultados</b>	<b>3</b>
<b>6</b>	<b>Análisis y Discusión</b>	<b>3</b>
<b>7</b>	<b>Conclusiones y Trabajo Futuro</b>	<b>3</b>
<b>8</b>	<b>Reproducibilidad</b>	<b>3</b>
<b>9</b>	<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>3</b>
<b>10</b>	<b>Apéndice</b>	<b>3</b>
	10.1 Link al repositorio con código fuente . . . . .	4

## 1. Introducción y Planteamiento del Problema

Contexto y motivación del problema, definición clara del problema a resolver, objetivos general y específicos, así como preguntas de investigación si aplica.

## 2. Marco Teórico y Trabajos Relacionados

Descripción de los conceptos y técnicas de aprendizaje de máquina utilizadas, y un repaso de trabajos previos o aplicaciones similares. Justificación de la elección de técnicas.

## 3. Datos

Descripción del conjunto de datos: origen, tamaño, variables, tipo de problema y preprocesamientos realizados (limpieza, valores faltantes, codificación, normalización). Incluir consideraciones éticas si aplica.

## 4. Metodología y Modelos

Descripción de la metodología seguida, esquema de entrenamiento/validación, modelos utilizados, hiperparámetros relevantes y métricas de evaluación.

## 5. Experimentos y Resultados

Presentación de los experimentos realizados, resultados obtenidos, tablas y figuras. Comparación entre modelos cuando corresponda.

## 6. Análisis y Discusión

Interpretación crítica de los resultados, patrones observados, fuentes de error, problemas de sobreajuste o subajuste y limitaciones del enfoque.

## 7. Conclusiones y Trabajo Futuro

Síntesis de las contribuciones y aprendizajes, junto con sugerencias de mejoras, nuevos datos, extensiones y aplicaciones futuras.

## 8. Reproducibilidad

Instrucciones para replicar los experimentos: enlace al repositorio, dependencias, versiones de librerías y comandos necesarios.

## 9. Referencias Bibliográficas

Listado de fuentes consultadas siguiendo un formato de citación consistente (APA, IEEE u otro).

## 10. Apéndice

Material complementario como tablas extensas, figuras adicionales, fragmentos de código o capturas de notebooks.

### 10.1. Link al repositorio con código fuente

<https://github.com/enriquegomeztagle/multi-agent-flocking-foraging-rl.git>