



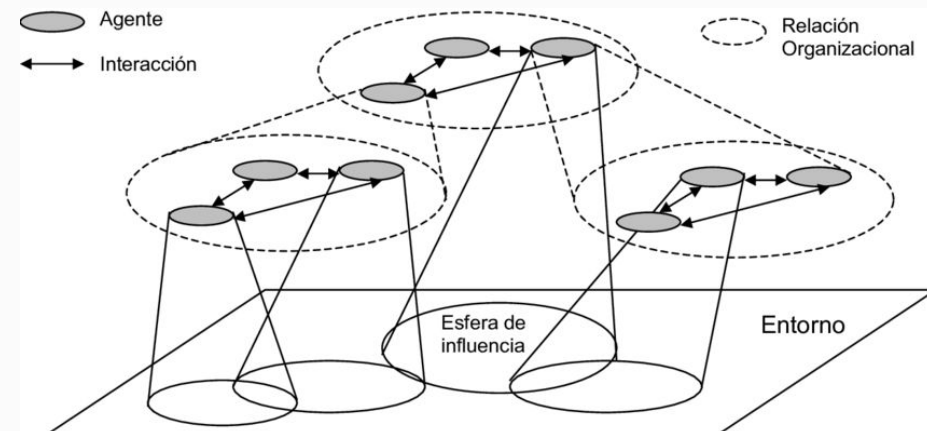
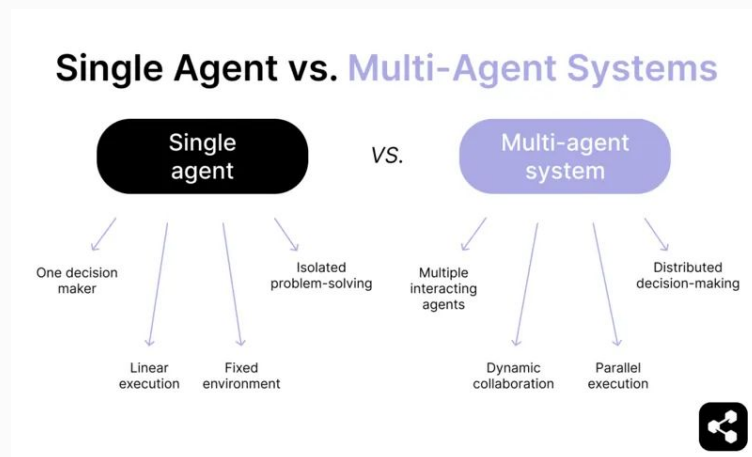
# **Sistemas Multi-Agente** Introduction



# **BLOQUE I: CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

# 1. Introducción al tema

- Un **Sistema Multi-Agente (SMA)** está formado por múltiples entidades llamadas *agentes* que interactúan entre sí.
- Cada agente tiene **autonomía**, **objetivos propios** y la capacidad de **comunicarse**.
- Los SMA se inspiran en sistemas naturales: colonias de hormigas, enjambres, o redes neuronales.



## 2. ¿Qué es un Agente?

- Un **agente** es un sistema computacional que percibe su entorno y actúa sobre él.
- **Características principales:**
  - Autonomía
  - Capacidad de percepción
  - Toma de decisiones
  - Comunicación
  - Aprendizaje

Ejemplo: un robot móvil que detecta obstáculos y ajusta su ruta.



### 3. Propiedades de los Agentes

- **Autonomía:** operan sin intervención humana directa.
- **Reactividad:** responden a cambios del entorno.
- **Proactividad:** persiguen metas por iniciativa propia.
- **Sociabilidad:** se comunican con otros agentes o humanos.
- **Adaptabilidad:** aprenden o ajustan su comportamiento con la experiencia.

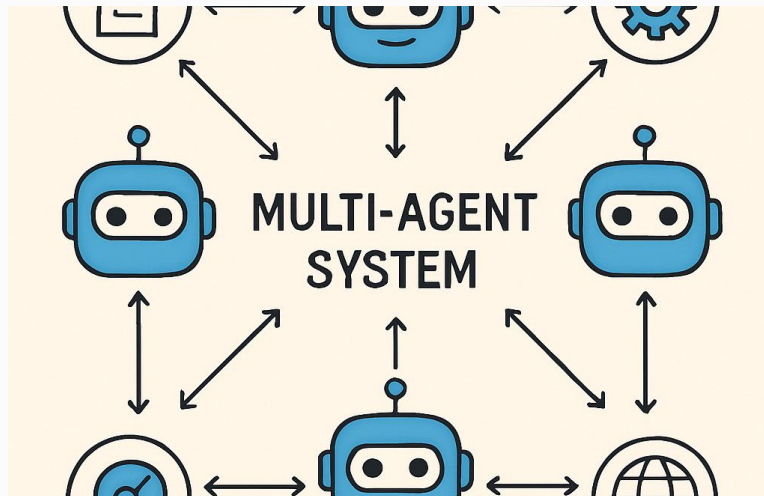
## 4. Tipos de Agentes

- **Reactivos:** responden a estímulos sin razonamiento previo (como un termostato).
- **Deliberativos:** planifican sus acciones con base en modelos internos del entorno.
- **Híbridos:** combinan respuesta inmediata con planificación a largo plazo.
- **Móviles:** se trasladan entre sistemas o redes para cumplir objetivos.



## 5. Qué es un Sistema Multi-Agente

Un **SMA** es un conjunto de agentes que interactúan para resolver tareas cooperativas o competitivas. La clave está en la **interacción**, ya que cada agente tiene una visión parcial del entorno. Ejemplo: en una misión de rescate, varios robots (agentes) colaboran para explorar diferentes áreas y compartir información.



## 6. Arquitectura de un SMA

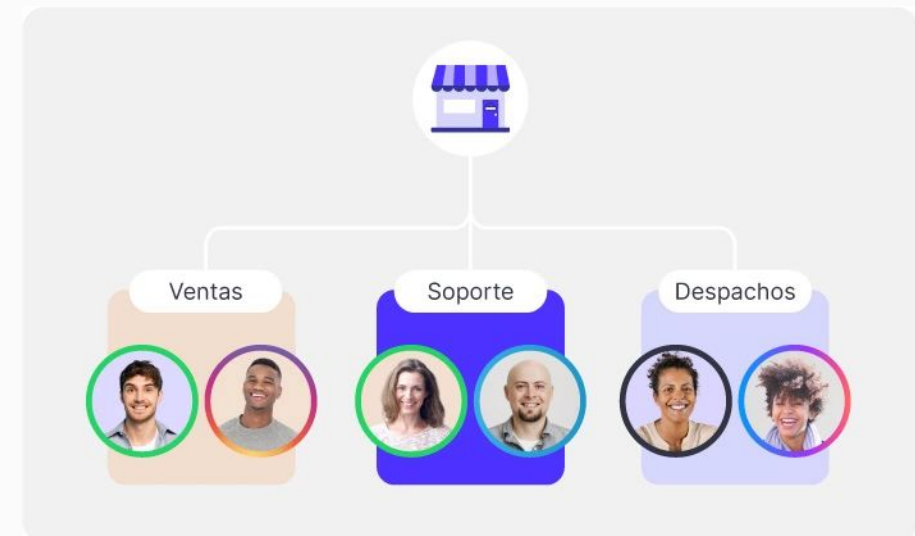
Los SMA incluyen:

- **Agentes autónomos:** unidades de decisión.
- **Entorno:** el espacio físico o virtual donde actúan.
- **Mecanismos de comunicación:** protocolos que les permiten interactuar.
- **Reglas de coordinación:** establecen cómo cooperan o compiten.  
Existen arquitecturas **centralizadas**, **distribuidas** y **jerárquicas**, según la forma en que se organiza el control.



## 7. Ventajas de los SMA

- Distribución del trabajo y paralelismo de tareas.
- Robustez: el sistema sigue funcionando si un agente falla.
- Escalabilidad: se pueden añadir nuevos agentes fácilmente.
- Adaptabilidad ante cambios o información incompleta.
- Adecuados para entornos dinámicos y complejos como el tráfico o los mercados financieros.





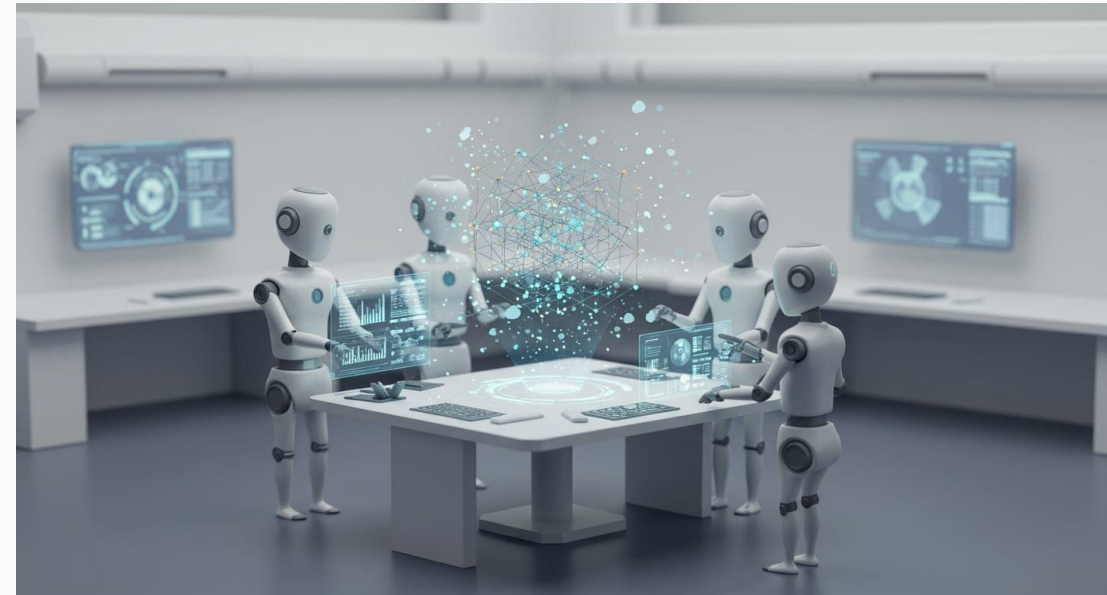
## **BLOQUE II: COMUNICACIÓN Y COORDINACIÓN ENTRE AGENTES**

## 8. Comunicación entre Agentes

- La comunicación es la base de todo SMA.
- Los agentes intercambian información sobre su estado, metas o resultados.
- Esto puede hacerse mediante mensajes, señales o estructuras de datos compartidas.

Lenguajes comunes:

- **KQML**: enfocado en consultas y manipulación de conocimiento.
- **FIPA-ACL**: estándar internacional para comunicación entre agentes.



## 9. Protocolos de Comunicación

Los agentes siguen protocolos para estructurar sus interacciones:

- **Solicitud-respuesta:** un agente pide ayuda o información.
- **Publicación-suscripción:** uno emite información y otros la reciben.
- **Negociación:** los agentes discuten para llegar a acuerdos.
- **Contratos:** se establecen compromisos formales de tareas.

## 10. Ontologías y Significados Compartidos

- Para evitar malentendidos, los agentes utilizan **ontologías**, que definen los conceptos y términos del dominio.
- Ejemplo: en logística, todos los agentes entienden lo que significa “pedido”, “entrega” o “prioridad”.
- Esto permite que sistemas desarrollados por distintos equipos colaboren eficazmente.

# 11. Coordinación entre Agentes

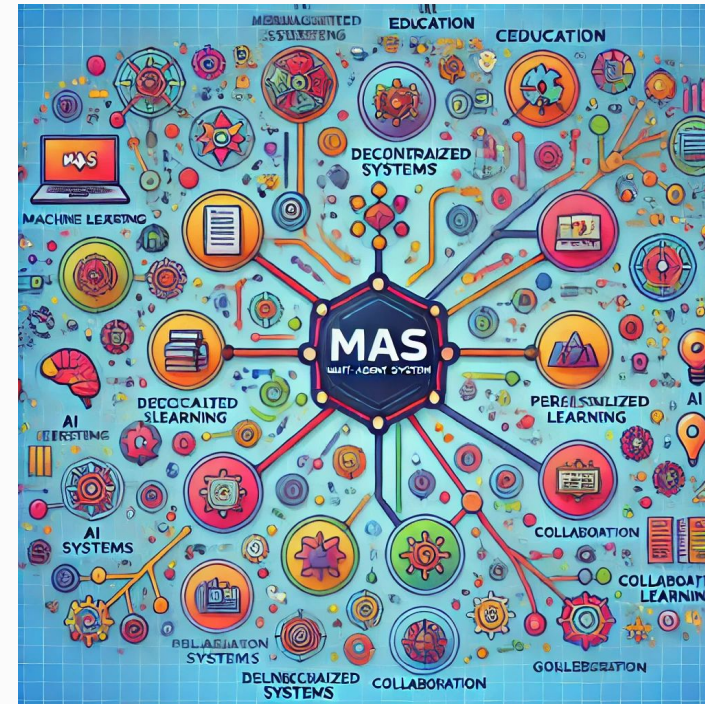
La **coordinación** evita conflictos y mejora la eficiencia.

Los agentes pueden:

- Dividir tareas grandes en subtareas.
- Asignarse roles según sus capacidades.
- Sincronizar acciones para no interferirse.  
Ejemplo: robots que limpian diferentes áreas de una fábrica sin solaparse.

## 12. Control Distribuido y Planificación

- En un SMA distribuido, no hay un agente central que tome todas las decisiones.
- Cada agente planifica localmente y comparte información con otros.
- El control distribuido permite **robustez** y **flexibilidad**, ya que el sistema se adapta cuando un agente falla o surge nueva información.







## **BLOQUE III: COLABORACIÓN Y NEGOCIACIÓN**

## 13. Colaboración entre Agentes

- La colaboración se da cuando los agentes trabajan hacia un objetivo común.
- Ejemplo: varios drones colaboran para crear un mapa 3D de un terreno.
- Los agentes comparten datos, se reparten tareas y corrigen errores del grupo.
- La cooperación es esencial en entornos inciertos o dinámicos.

## 14. Mecanismos de Colaboración

- **Intercambio de información:** compartir percepciones o resultados.
- **Asignación dinámica de tareas:** los agentes se reparten actividades según su disponibilidad.
- **Aprendizaje compartido:** los agentes aprenden de la experiencia colectiva.
- **Coordinación mediante incentivos:** recompensas cuando el grupo cumple la meta.

## 15. Negociación entre Agentes

Cuando los intereses difieren, los agentes deben **negociar**.

Ejemplos: asignación de recursos, precios o tiempo de ejecución.

Métodos:

- **Subastas:** los agentes compiten por tareas o recursos.
- **Argumentación:** intercambian razones y contraargumentos.
- **Mediación:** un agente neutral facilita el acuerdo.



## 16. Resolución de Conflictos

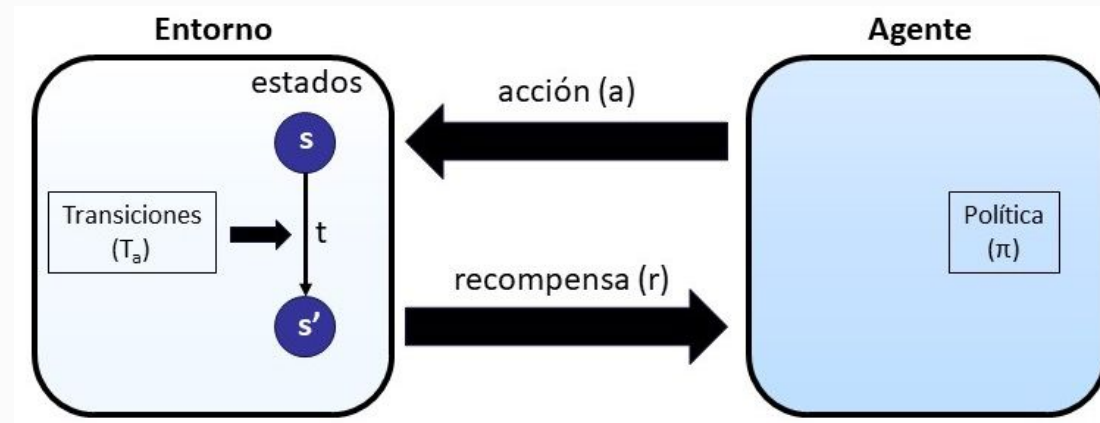
Los conflictos se resuelven mediante:

- **Compromisos parciales:** se satisface parcialmente a cada parte.
- **Reglas de prioridad:** se privilegia la tarea más crítica.
- **Votación o consenso:** decisión colectiva del grupo.  
La resolución eficiente de conflictos evita bloqueos y mantiene la estabilidad del sistema.



## 17. Aprendizaje Multi-Agente

- Los agentes pueden **aprender en conjunto**, compartiendo experiencias.
- El **Aprendizaje por Refuerzo Multi-Agente (MARL)** permite que cada agente mejore su estrategia en base al comportamiento de los demás.
- Se usa en conducción autónoma, videojuegos cooperativos, trading y control de tráfico





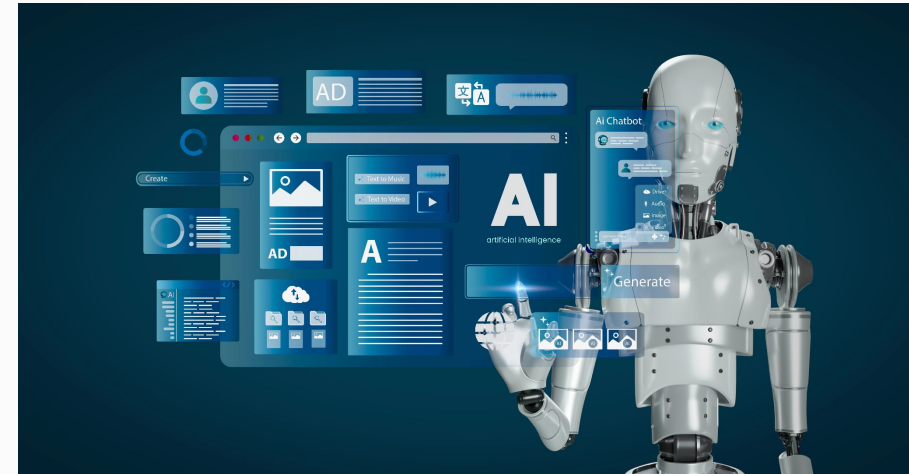


## **BLOQUE IV: APLICACIONES REALES**



## 18. En Robótica

- **Swarm robotics:** enjambres de robots que cooperan sin control central.
- **Drones coordinados:** búsqueda y rescate, vigilancia, mapeo 3D.
- **Cobots:** robots que colaboran con humanos en fábricas.  
Los SMA permiten una robótica más flexible y autónoma.



## 18. En Finanzas

- **Agentes de trading automático:** compran y venden en mercados según reglas y predicciones.
- **Simulaciones de mercado:** estudian el comportamiento colectivo de inversores virtuales.
- **Gestión de riesgo:** agentes que evalúan escenarios económicos.



## 19. En Logística y Transporte

- **Planificación de rutas:** agentes que calculan trayectorias óptimas.
- **Gestión de flotas:** camiones o drones que cooperan para entregar productos.
- **Inventarios inteligentes:** comunicación entre almacenes para redistribuir productos.



## 20. Otras Aplicaciones

- **Videojuegos:** NPCs que cooperan o compiten de forma realista.
- **Smart Grids:** redes eléctricas con agentes que equilibran la demanda y generación.
- **Sistemas de tráfico:** semáforos inteligentes coordinados.
- **Medicina:** agentes que analizan diagnósticos o tratamientos.





# **BLOQUE V: DESAFÍOS, FUTURO Y CONCLUSIONES**

## 21. Desafíos y Futuro

### Desafíos actuales:

- Complejidad de comunicación en sistemas grandes.
- Seguridad y confianza entre agentes.
- Coordinación en entornos inciertos.

### Tendencias futuras:

- Integración con IA generativa y aprendizaje profundo.
- Sistemas auto-organizativos sin supervisión humana.
- Colaboración humano-máquina más natural.



## 22. Conclusiones

- Los **Sistemas Multi-Agente** representan una de las áreas más prometedoras de la inteligencia artificial moderna.
- Permiten resolver problemas distribuidos, adaptarse a cambios y aprender colectivamente.
- Su desarrollo futuro apunta a sistemas autónomos capaces de **colaborar, negociar y evolucionar** de forma casi humana.



